

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Infratekniikka

2015

Elina Peippo

# TIETOMALLIN HYÖDYNTÄMINEN INFRAHANKKEEN LAADUNVALVONNASSA

– Isoisänsillan rakennuttaminen Helsingin  
Kalasatamaan



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Turun ammattikorkeakoulu

Tekniikka, ympäristö ja talous

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Infratekniikka

Elina Peippo

Opinnäytetyö

TIETOMALLIN HYÖDYNTÄMINEN INFRAHANKKEEN LAADUNVALVONNASSA  
- Isoisänsillan rakennuttaminen Helsingin Kalasatamaan

Hyväksytty

Turussa \_\_\_\_/\_\_\_\_ 2015

Valvoja

\_\_\_\_\_  
DI Pirjo Oksanen

KT-vastaava

\_\_\_\_\_  
Tekn. lis. Esa Leinonen

Elina Peippo

## TIETOMALLIN HYÖDYNTÄMINEN INFRAHANKKEEN LAADUNVALVONNASSA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia tietomallinnuksen käyttöä ja siitä saatuja hyötyjä sillanrakentamisen laadunhallinnassa. Tarkoituksena oli havainnollistaa mallintamisen tuomia uusia rakennustapoja ja menetelmiä sekä niiden vaikutuksia hankkeen toteutukseen. Uusia työmenetelmiä verrattiin perinteisiin laadunhallinnan tapoihin analysoiden saatuja hyötyjä ja kehitysehdotuksia pilottikohteen avulla.

Tietomallinnuksen tärkein tarkoitus on uudistaa työtapoja ja -menetelmiä parantamalla samalla hankkeen laatua ja vähentämällä kustannuksia. Hankkeen kustannussäästöt mahdollistuvat laadukkaamman organisoinnin ja hallinnan kautta. Tietomallinnusta on kokeiltu pilottikohteen avulla ja monien eri tahojen yhteistyön tuloksena mallinnuksen tueksi on laadittu ohjeistuksia. BuildingSMART Finland julkaisee toukokuussa 2015 Yleiset inframallivaatimukset, joiden tarkoituksena on toimia ohjeina ja määräyksinä vieden kehitystä eteenpäin.

Pilottikohteista saadun tiedon perusteella tietomallinnuksen on koettu parantavan työmaan hahmottamista, aikataulusuunnittelua ja vähentävän virheiden muodostumista, mutta samalla se on vaatinut urakoitsijoilta uudenlaista tarkkuutta ja vienyt lisäksi ajallisesti työmaan resursseja. Myöskään mallien yhteensovittaminen ei ole ollut ongelmaton ja joidenkin rakennusosien mallinnus on koettu haastavaksi. Lisäksi riskinä on automaation mahdollistavan koneen systemaattinen virhe ja tulkintatavoista sekä malliin syötettävästä väärästä tiedosta tai vanhentuneista tiedoista johtuvat virheet.

Mallintamisen kehittyessä uudet työmenetelmät mahdollistavat tietojen siirtymisen automaattisesti toteumamalliin kaikkien osapuolten nähtäville, mikä vähentää resurssitarvetta. Työkoneiden mallipohjaisen työskentelyn johdosta työn tarkkuus paranee pienentäen hukan määrää työmaalla. Tämä vaikuttaa olennaisesti kustannuksiin. Kehitys mahdollistaa erinäisten hankkeen turvallisuussuunnitelmien ja muiden turvallisuuteen ja laatuun vaikuttavien aineistojen saamisen suoraan mallista. Työmaa painottuu mallintamisen hyödyntämiseen ja sen hallintaan, jolloin keskittyminen työn kokonaisvaltaiseen organisointiin ja toteutukseen paranee.

### ASIASANAT:

Tietomalli, Infra, Toteumamalli, BIM, Silta, Laadunvarmistus, Laadunvalvonta, Tilaaaja, Valvoja, Urakoitsija.

Elina Peippo

## BIM UTILIZATION IN THE QUALITY CONTROL OF AN INFRASTRUCTURE PROJECT

The aim of this study was to examine the use of building information modeling and the resulting benefits in the quality control of bridge construction. The aim was to illustrate the modeling brought about by new building styles and methods, as well as their impact on the project. Working methods were compared to the traditional quality control practices by analyzing the benefits and development proposals with the pilot project.

Building information modeling reshapes working methods and procedures while improving project quality and reducing costs. Higher quality in organization and management enables cost savings in the project. Modeling has been tested in pilot projects and cooperation between numerous different organisations has resulted in guidelines for support. General Infrastructure Requirements Model will be published by BuildingSMART Finland in May 2015, which is designed to serve as a guide and regulation for taking development forward.

The modeling has improved the perception of the construction site, schedule planning and prevention of errors but it has required new kind of accuracy from the contractors and at the moment it uses too much timely resources of construction sites. A number of problems has appeared with the coordination of the models and certain building blocks have been a challenge to the model. In addition, systematic error of the machine is a risk for automation and ways to interpret as well as errors due to feeding the wrong data into the model are also seen as a risk.

Developing the modeling system opens a door for new working methods reducing the need for resources since it allows the documents to go directly to as-built model and thus all parties to see. The model-based work of construction machines improves work accuracy which reduces waste volume in construction sites. The site focuses on utilizing the modeling and its management and therefore decreases the volume of physical labor, as people have more resources to ensure the quality and focus on the overall organizing of the project and to ensure successful implementation.

### KEYWORDS:

Information model, Infrastructure, built model, Building Information Model (BIM), Quality assurance, Quality Control, Subscriber, Supervisor, Contractor.

# SISÄLTÖ

<b>MALLINTAMISEEN LIITTYVIÄ KÄSITTEITÄ</b>	<b>7</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>8</b>
1.1 Opinnäytetyön tausta	8
1.2 Tavoite	9
1.3 Tutkimusmenetelmät	10
1.4 Rajaus	10
<b>2 TIETOMALLIPOHJAINEN RAKENTAMINEN</b>	<b>12</b>
2.1 Tietomallintaminen	12
2.2 Tietomallin hyödyntäminen	17
2.3 Toteumamallin laadinta ja tarkoitus	19
2.4 Tietomallin nykytilanne ja kehitys	20
<b>3 LAADUNVARMISTAMINEN JA -VALVONTA SILLANRAKENNUKSESSA</b>	<b>27</b>
3.1 Laatuvaatimukset ja niiden valvonta ja todentaminen sillanrakentamisessa	27
3.1.1 Laadunvarmistaminen urakoitsijan näkökulmasta	28
3.1.2 Laadunvarmistaminen ja -valvonta tilaajan näkökulmasta	32
3.1.3 Laadunvarmistaminen ja -valvonta valvojan näkökulmasta	34
3.2 Tietomallintaminen laadunvarmistuksessa ja -valvonnassa	35
3.2.1 Tietomallin laadunvarmistus	36
3.2.2 Laatudokumentointi tietomalliin	36
3.2.3 Toteumamalli laadunvalvonnassa	37
<b>4 ISOISÄNSILTA</b>	<b>39</b>
4.1 Hankkeen kuvaus	39
4.2 Isoisänsillan rakennuttaminen pilottikohteena	41
4.2.1 Tietomallin hyödyntäminen Isoisänsillan rakentamisessa	42
4.2.2 Urakan tietomallivaatimusten bonus- ja sanktiokäytännöt	45
4.2.3 Toteumamallin hyödyntäminen laadunvalvonnassa	46
4.2.4 Tietomallintamisen haasteet	48
<b>5 KEHITYSEHDOTUKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET</b>	<b>52</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>57</b>

## KUVAT

Kuva 1. Lähtötietomalli täydentyy projektin edetessä, ja sen ajantasaisuus palvelee koko hankkeen elinkaarta.	14
Kuva 2. Urakkaa havainnollistava yhdistelmämalli.	16
Kuva 3. Mallien muodostuminen rakennesuunnittelusta ylläpitoon	17
Kuva 4. Rakennusvaiheen toteutuneesta ja suunnitellusta koostuva sillan ylläpitomalli.	32
Kuva 5. Havainnollista kuva sillasta ilmaperspektiivistä.	40
Kuva 6. Sillan näkymä Capellan puistotien suunnasta.	40
Kuva 7. Havainnollistava kuva sillasta sen suuntaisesti.	41
Kuva 8. Rakentamisen tilannetta on vaivatonta seurata yhdistelmämallista värien avulla.	43
Kuva 9. Isoisänsillan rakennuttamisessa yhdistelmämallia on hyödynnetty myös perehdytyksessä.	44
Kuva 10. Maatukien poikkileikkauskuva toteutuneesta.	47
Kuva 11. Poikkileikkauskuva siltakannen rakenteesta ylläpitomallissa.	48

## MALLINTAMISEEN LIITTYVIÄ KÄSITTEITÄ

Inframodel 3 -tiedon-  
siirtoformaatti

Suomalaisten kehittämä formaatti infra-alan tietojen siirtoon, joka perustuu kansainväliseen LandXML-standardiin. (Infra-BIM. Inframallintamisen yhteistyöfoorumi. Inframodel 3-tiedonsiirtoformaatti otetaan yleiseen käyttöön. Viitattu 6.4.2015 <http://www.infrabim.fi/inframodel-3-tiedonsiirtoformaatti-otetaan-yleiseen-kayttoon/> ).

Pilottikohde  
rakentamisessa

Pilottikohteella tarkoitetaan uuden kehittämistavan testaamista ja sen käyttöönottoa tietyssä rakennuskohteesta (Tekes 2015. Tekesin rahoitus yrityksille. Yritysten kehitysprojektit ja pilotointi. Viitattu 6.4.2015 <http://www.tekes.fi/rahoitus/rahoitusta-yritysten-kehitysprojekteihin/pilotointi/>).

Poikkeamaraportti

Urakoitsijan toimesta laadittu kirjallinen raportti urakan vaatimusten täyttämättä jäämisestä (InfraRYL 2006 Osa 3, 79).

Siltojen ylläpito

Siltojen ylläpito käsittää niiden puhtaanapidon lisäksi vuositarkastukset ja jatkuvan silmämääräisesti toteutettavan tarkkailun, yleistarkastukset, erikoistarkastukset, ylläpitoluonteiset korjaukset, yksittäisten vaurioiden korjaukset ja sillan peruskorjauksen. Tällä tavoin varmistetaan sillan käyttökelpoisuus ja rakenteellinen kunto ja säilytetään tieverkon haluttu palvelutaso. (Tiehallinto. Siltojen ylläpito. Toimintalinjat. Helsinki 2009. Edita Prima Oy).

Tekla Structures

Teklan tuottama taitorakenteiden tietomallintamiseen soveltuva ohjelmisto (Tekla. Tekla Structures. Viitattu 6.4.2015 <http://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>).

Tietomallinnus

Rakenteen kolmiulotteinen suunnitelma, jossa rakenneosat ovat havainnollistettu eri värein (InfraBIM. Inframallintamisen yhteistyöfoorumi. Mitä tietomallinnus tarkoittaa? Viitattu 6.4.2015 <http://www.infrabim.fi/tietomallintaminen-tieverkon-yllapidossa/> ).

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Opinnäytetyön tausta

Tietomallintaminen on siirtymässä osaksi infrarakentamista uudistamalla käytössä olleita perinteisiä työtapoja ja -menetelmiä. Tämä mahdollistaa laadullisesti paremman toteutuksen ja työmaan hallinnan rakentamisen siirtyessä läpinäkyvämmäksi, sillä ajantasainen rakentamisen aikainen malli paljastaa mahdolliset virheet ja poikkeamat reaaliaikaisesti. Sen avulla urakoitsijat pystyvät myös rakentamaan paremmin haluttua laatua, sillä toteutusmalli mahdollistaa laatukriteerien määrittämisen yksiselitteisesti jo ennen rakentamisen aloitusta. Organisointi helpottuu ja työmäärä vähenee dokumenttien siirtyessä suoraan tietomalliin. Mallipohjaisen rakennustavan avulla hukan määrä työmaalla pienenee, sillä määrät saadaan tarkasti suoraan mallista. Nämä yhdessä vähentävät hankkeen henkilöstöresurssien tarvetta ja vaikuttavat kokonaiskustannuksiin. Aikaa ei mene enää samoissa määrin valmiin rakenteen sisällön selvittämiseen, ja rakenteiden hoidon ja ylläpidon toimenpiteet voidaan varmemmin määrittää. Hoidon ja ylläpidon tason nousu edesauttaa rakenteiden säilymistä pidempään hyväkuntoisina. (K. Laatonen, henkilökohtainen tiedonanto 7.4.2015.)

Tässä opinnäytetyössä perehdytään mallintamisen haasteisiin sekä sen kehittämismahdollisuuksiin infrarakentamisessa. Havainnollistavana rakennusurakkana opinnäytetyön toteuttamiseen on käytetty Isoisänsillan rakennuttamishanketta Helsingin Kalasatamassa. Isoisänsillan rakentamisessa hyödynnetään tietomallinnusta koko rakennusurakan aikana hankkeen näin toimiessa yhtenä tietomallintamisen pilottikohteista. Pääurakoitsijana projektissa toimii Insinööritoimisto Seppo Rantala Oy, ja pääsuunnittelun toteuttaa Insinööritoimisto Pontek Oy. Hankkeen tilaajana on Helsingin kaupunki, joka on nimennyt hankkeen rakennuttajakonsultiksi A-Insinöörit Rakennuttaminen Oy:n. Konepajasuunnittelun tekee WSP, joka toimii myös urakoitsijan tietomalliasiantuntijana. Konepajana hankkeessa on Normek Oy.



Mallinnus rakentamisessa on asiana ja käsitteenä ajankohtainen. Sen kehittämisen ja hyödynnettävyyden edistämiseksi ollaan laatimassa kaikille alan toimijoille yhteneviä ja täsmällisiä ohjeita mallinnusvaatimusten osalta. BuildingSMART Finlandin toukokuussa 2015 julkaistavien Yleisten Inframallivaatimusten YIV valmistelutyössä ovat olleet mukana Infra FINBIM -työpakettin osapuolet ja BuildingSMART Finland Infra -toimijajaryhmä, joiden lisäksi laadintaan ovat osallistuneet lukuisat alan yritykset, toimijat ja organisaatiot. Ohjeiden toteutuksessa ja kehitystyössä on myös hyödynnetty kymmeniä tietomallinnuksen pilottikohteita. (Salmi ym.2015, 4–12.)

Liikennevirasto on osaltaan edistänyt asteittaista mallinnuksen käyttöönottoa ja on 1.5.2014 jälkeen aloitettujen hankkeiden osalta edellyttänyt muiden suurten tilaajien tavoin Inframodel 3 -tiedonsiirtoformaatin käyttöä. Opinnäytetyössä hyödynnetyn sillanrakennushankkeen mallintamisen apuna on käytetty Helsingin kaupungin omia mallinnusohjeita sekä Siltojen tietomalliohjetta, jonka Liikennevirasto julkaisi keväällä 2014. Tämän lisäksi Ville Alajoki Helsingin kaupungilta on ollut vahvasti mukana mallintamisen käyttöönotossa. (Salmi ym. 2015, 4–12.)

Uuden rakennustavan tavoitteena on, että tietomallintaminen olisi pian luonnollinen osa infra-alan toimintaprosessia kaikkien hankkeeseen osallistuvien tahojen osalta koko rakennusvaiheen ajan ja se tulisi toimimaan myös ylläpidon apuvälineenä.

## 1.2 Tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia tietomallinnuksesta saatavia hyötyjä sillanrakentamisessa ja tarkastella, millä tavoin tietomallia on mahdollista hyödyntää hankkeen laadunvarmistamisessa ja -valvonnassa. Tarkoituksena on selvittää niin tilaajan, urakoitsijan kuin valvojankin näkökulmasta, miten tietomallia olisi mahdollista käyttää hankkeen toteutuksen työvälineenä ja miten tämä tulisi muuttamaan infrarakentamisen laadunvarmistuksen ja -valvonnan tapoja ja työmenetelmiä verrattuna perinteisiin tapoihin. Lisäksi opinnäytetyössä tullaan analysoimaan mallintamisen haasteita ja kehitysehdotuksia pilottiprojektin avulla.

### 1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmänä opinnäytetyössä käytetään case- eli tapaustutkimusta, ja lisäksi tausta-apuna tiedonhankintaa varten laadittiin kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus, haastattelututkimus. Haastattelututkimus toteutettiin ryhmähaastatteluna sekä sähköpostihaastatteluna, ja haastattelussa tarkasteltiin jokaisen urakkaan osallistuvan eri tahon näkökulmia Isoisänsillan tietomallinnusta koskien sekä tarkastellen sen kehitystä ja hyödynnettävyyttä yleensä. Tarkoituksena tällöin on, että opinnäytetyön toteutuksessa huomioidaan monipuolisesti osapuolien näkökulma tietomallinnuksen hyödyntämisestä ja sen käytännön toteutuksesta sekä vastaantulevista haasteista ja kehitysehdotuksista. (Virtuaaliammattikoulu. Case-tutkimus; Tampereen Teknillinen Yliopisto. Tutkimusmenetelmät.)

Empiiriseksi tutkimukseksi luonnehdittava case-tutkimuksen tarkoituksena on tutkia hyvin tarkasti tiettyä kohdetta. Koska yleensä on kysymys monista tutkittavaan asiaan vaikuttavista seikoista ja niiden summasta, pyritään niistä saamaan mahdollisimman yksityiskohtainen, kokonaisvaltainen ja tarkka kuvaus. Case-tutkimusta käytetään useasti tutkittaessa intensiivisesti jotain ajankohtaista asiaa. Kyseistä tutkimustapaa käytetään yleensä hyödyksi ja pohjana jatkotutkimuksille samasta aiheesta. Case-tutkimuksessa käytetään tietyn asian analysoimiseen varsin monipuolista ja monilla eri tavoin hankittua tietoa. Tästä syystä tätä tutkimustapaa onkin käytetty runsaasti erilaisissa kehittämishankkeissa, sillä tutkimuksen avulla saadaan jatkotutkimuksia varten oleellista ja laadukasta taustatietoa. (Virtuaaliammattikoulu. Case-tutkimus.)

### 1.4 Rajaus

Opinnäytetyö keskittyy tutkimaan ja havainnollistamaan tietomallinnusta pääosin toteumamallin ja sen hyödynnettävyyden osalta, sillä sillan toteumamalli on oleellisin tietomalli laadunvarmistamisen ja laadunvalvonnan kannalta. Se havainnollistaa kokonaisvaltaisesti hanketta sekä suunnittelun että toteutuneen osalta.

Malli laaditaan työmaalla rakennetun toteuman perusteella, joten siitä on nähtävissä rakentamisen tilanne ja mahdolliset poikkeamat suunniteltuun ja vaatimukseen. (Palviainen 2014, 4.)

## 2 TIETOMALLIPOHJAINEN RAKENTAMINEN

### 2.1 Tietomallintaminen

Puhuttaessa rakentamisen tietomallintamisesta käytetään yleisesti lyhennettä BIM, joka tulee englanninkielisestä termistä *building information modelling*. Tietomallipohjaiseen rakentamiseen sisältyy erilaisia tietomalleja. Niitä tuotetaan hankkeen eri rakennusvaiheissa erilaisiin tarkoituksiin osapuolten välille, ja ne sisältävät vaihekohtaisesti kaiken oleellisen ja vaaditun tietosisällön. Nämä suunnittelukokonaisuuksiksi luonnehdittavat mallit on kehitetty tietomallipohjaista suunnittelua tukevaan digitaaliseen muotoon. Ne ovat yksinkertaistettuna kuin kolmiulotteinen projektipankki, jonne siirretty data on osittain visuaalisessa muodossa. Niihin syötettyä tietoa voivat tällöin hyödyntää hankkeen eri osapuolet suunnittelun, rakentamisen, laadunvalvonnan ja kunnossapidon aikana. (Liikennevirasto 2014; Liikennevirasto, 2014, 17; InfraFINBIM Mallinnusvaatimukset. Lyhyt sanasto, 7.)

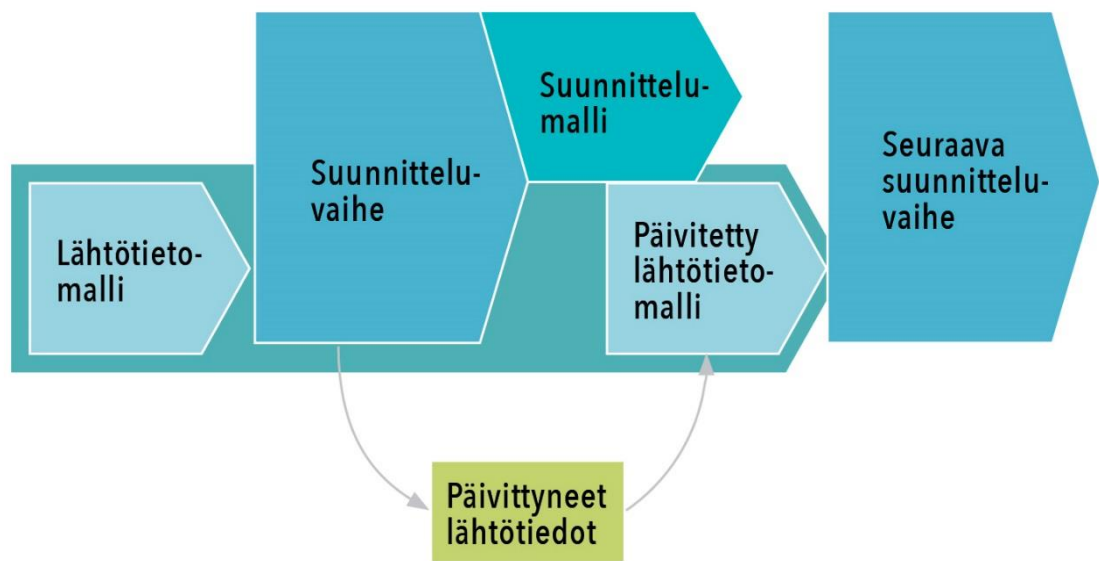
#### Nykytilamalli

Ennen varsinaisen suunnittelun aloittamista laaditaan rakennusalueen nykytilamalli, joka voidaan toteuttaa joko erillisenä tehtävänä tai laatia osaksi suunnitteluvaiheen toimeksiantoa. Siitä käy ilmi olemassa oleva tilanne rakennuspaikalta sekä lähellä olevat suunnitteluun vaikuttavat asiat. Tämä kyseinen tietomalli päivittyy koko ajan suunnittelun edetessä lähtötietojen lisääntymisen ja tarkentumisen myötä. Nykytilamallin osalta siltamallissa esitetään muun muassa väylät ja väylärakenteet, kunnallistekniikka, rakenteet ja lähialueen rakennukset, kaavoitustiedot, ympäristötiedot, maastomalli ja maaperämalli sekä muu mahdollinen suunnittelua tukeva aineisto olemassa olevasta ympäristöstä. (Liikennevirasto, 2014, 7, 17; Liukas & Kemppainen 2013, 5.)

## Lähtötietomalli

Lähtötietomalli on yhtenäinen suunnitteluvaiheen tietomalli, joka on muodostettu kolmesta eri osa-alueesta. Nykytilamalli on yksi niistä. Nykytilamallin lisäksi lähtötietomalli koostetaan myös muilta tekniikkalajien suunnittelijoilta saadusta suunnitteluvaiheen aineistosta sekä edellisen suunnitteluvaiheen aineistosta, jota hyödynnetään esimerkiksi viiteaineistona tai referenssinä. Lähtötietojen tulee olla ajantasaisia, jolloin sen tarvittava päivittäminen on tärkeää hankkeen edistytessä (kuva 1). Tietomallin laajuus ja tarkkuus vaihtelevat suunnitteluvaiheesta riippuen, sillä tärkeintä on saada välitettyä suunnittelijalle ratkaisuihin vaikuttava kyseisen vaiheen kannalta oleellinen tieto. Rakennusosien mallinnuksessa tulee noudattaa erityistä huolellisuutta, jotta tietoa siirrettäessä niiden sijainti, nimi, tyyppi ja geometria siirtyvät saumattomasti rakennusosan mukana muuttumattomina. (Liikennevirasto, 2014, 14–15.)

Esisuunnittelua tehdään siltojen uudisrakentamisen osalta siltapaikkaluokissa I-II. Esisuunnitteluvaiheessa tärkeänä tehtävänä on yhdistelmämallin muodostaminen maastomallin, väylämallin ja siltavaihtoehtojen pohjalta. Luonnostelun tarkkuudella toteutettavan yhdistelmämallin avulla voidaan tarkastella ja vertailla havainnollisemmin eri vaihtoehtoja. (Liikennevirasto, 2014, 17, 21; Tielaitos, 2000, 10.)



Kuva 1. Lähtötietomalli täydentyä projektin edetessä, ja sen ajantasaisuus palvelee koko hankkeen elinkaarta (InfraBIM. <http://www.infrabim.fi/lahtotiedot-ovat-inframallintamisen-peruskivi/>).

### **Yleissuunnitteluvaihe**

Sillan yleissuunnitteluvaiheessa sillasta mallinnetaan näkyvät rakenteet sekä varusteet ja siltaan liittyvät maastorakenteet, esimerkiksi sillan päätyluiskat ja keilat. Mallista täytyy kuitenkin olla luettavissa päärakennusosien materiaalit ja järjestelmien merkitys, joten toteutuksessa on käytettävä asianmukaisia ohjelmisto-kohtaisia objekteja. Näiden lisäksi tulee mallintaa immateriaaliset tiedot, eli tällöin esitetään myös liikennetekniset mitat, aukkovaatimukset, väylien mittatiedot, tukilinjat ja pääpisteet. Tässä kohtaa mallintamista riittävä tarkkuus on mallintaa pelkästään näkyvät pinnat, jolloin piiloon jääviä rakennusosia ja raudoituksia ei tässä suunnitteluvaiheessa ole vielä tarpeen mallintaa. (Liikennevirasto, 2014, 17, 22–23.)

### **Siltasuunnitelmavaihe**

Lähtötietomallia tarkennetaan siltasuunnitelmavaiheessa maaperätietojen sekä väylän pintarakenne-, rakennekerros- ja kaivurajatietojen osalta. Siltasuunnitelmavaiheessa sillasta mallinnetaan rakenteiden näkyvien osien, varusteiden ja

laitteiden lisäksi alusrakenteet kokonaisuudessa sekä siltaan liittyvät maastorakenteet. Siltasuunnitelmavaiheessa raudoituksia ja pieniä detaljeja ei ole tarpeen mallintaa, mutta raudoitus ja jänneteräukset tulee kuitenkin merkata tietomallin rakenneosille määrätietona. (Liikennevirasto, 2014, 23–25.)

### **Rakennussuunnitelmavaihe**

Sillan täydellinen mittatarkka tuotemalli laaditaan rakennussuunnitelmavaiheessa. Rakennussuunnitelmavaiheessa silta mallinnetaan kokonaisuudessaan varusteineen, laitteineen, raudoituksineen, maaperätietoineen ja immateriaalitietoineen. Tämän lisäksi tilaajalle tuotetaan myös mahdolliset erilliset tarkentavat mallit. Rakennussuunnitelman suhteen tämä voi olla esimerkiksi konepajamalli, joka on laadittu erikseen teräsrakenteiden konepajatuotantoa varten. Sen tulee sisältää kaikki rakenteen tekemiseen vaadittavat detaljit. Tietomallin lisäksi laaditaan tietomalliselostus ja mahdolliset muut täydentävät asiakirjat. Hyväksytyn siltasuunnitelman pohjalta laaditaan rakennussuunnitelma eli tuotemalli, jonka mukaan toteutetaan hankkeen rakennustyö. Tällöin lopullisessa suunnitelmassa esitetään rakenteet sellaisena, kuin ne tullaan toteuttamaan. (Liikennevirasto, 2014, 25; Tielaitos, 2000, 13.)

### **Yhdistelmämalli**

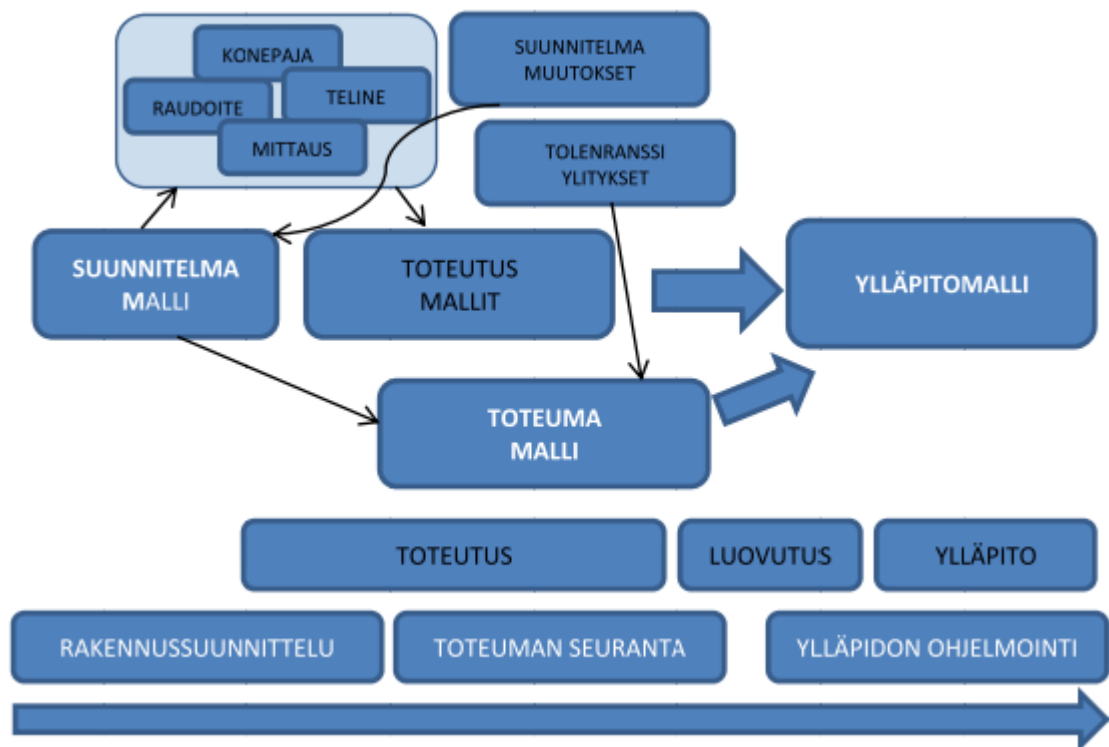
Siltapaikan yhdistelmämalli on hankkeen kokonaisuuden kannalta oleellisin tietomalli, jossa yhdistyvät sillan lähtötietomalli, tuotemalli sekä muiden tekniikkalajien mallit (kuva 2). Yhdistämällä tasaisin väliajoin eri tekniikkalajien mallit, on mahdollista havaita suunnitelmien ristiriitaisuudet mahdollisimman aikaisin. Tämä myös puolestaan lisää suunnittelijoiden ja urakoitsijan tiiviimpää yhteistyötä, jolloin väärinkäsitysten riski pienenee. (Liikennevirasto, 2014, 10, 14, 21–25, 32–33.)

Yhdistelmämalli laaditaan siirtämällä sillan malli osaksi koko hankkeen käsittämää yhdistelmämallia. Vaihtoehtoisesti voidaan tuoda muiden tekniikkalajien siltapaikkaan liittyvät mallit sillan malliin. Yhdistelmämallin muodostuminen tulee käydä aina selkeästi ilmi yhdistelmämallin malliselostuksessa. (Liikennevirasto, 2014, 10, 14, 21–25, 32–33.)





Toteumamallia laadittaessa laserkeilaus on yksi toteutuksen apuväline. Tällöin laserkeilausta hyödynnetään laserkeilaamalla rakennettu ja rakennuspaikan geometria riittävän suurella pistetiheydellä ja mittaustarkkuudella. Lisäksi mittaamisessa käytetään apuna takymetria, valokuvausta ja lämpökameraa. Tuotettua toteumamallia hyödynnetään jatkon kannalta rakenteen lähtötietona korjausrakentamisessa ja ylläpidossa. Tällöin ylläpitomalli liitetään osaksi taitorekisteriä, ja se toimii hyödyntämiskelpoisena ylläpidon ja hoidon prosesseissa. (Liikennevirasto, 2014, 34.)



Kuva 3. Mallien muodostuminen rakennesuunnittelusta ylläpitoon (Liikennevirasto, 2014, 33).

## 2.2 Tietomallin hyödyntäminen

Parhaimmillaan tietomallinnusta rakentamisessa hyödyntävistä pilottikohteista saatavien palautteiden ja kehitysehdotusten avulla saadaan tuotettua täsmälliset tietomallintamisen ohjeet, jolloin alan asiantuntijat hyödyntäessään niitä pystyvät

uudistamaan infrarakentamiseen rakentamistapoja. Toteutuessaan tämä uudistus tulee koskemaan kaikkia rakentamisen osapuolia. Tällöin tietomallinnusta tul-  
laan hyödyntämään kaikkien hankkeen vaiheiden aikana esisuunnittelusta ylläpi-  
toon asti. Tämä tarkoittaa tiedonsiirtoformaatin kehittämistä eteenpäin sekä oh-  
jeiden ja vaatimusten soveltamista tietomallintamisen pilottikohteisiin. Samanai-  
kaisesti nimikkeistöä laajennetaan inframallinnusta tukeväksi ja laaditaan alaa  
koskevat vaatimukset ja ohjeet. (Liikennevirasto, 2014, 12–13; InfraBIM-tiedote  
10.6.2013, 4.)

Tietomallipohjaisen rakentamisen avulla pyritään tuottavuuden lisäämiseen ja  
laadun selkeään parantamiseen. Mallintamisen avulla on mahdollista parantaa  
suunnittelua ja ennaltaehkäistä virheitä helpommin jo rakentamisen varhaisessa  
vaiheessa. Tämä vähentää myös mahdollisten riskien muodostumista hankkeen  
toteutuksen aikana. Tällöin työpanos painottuu varhaisempaan suunnitteluun, jol-  
loin projektin kustannuksiin on mahdollista helpommin vaikuttaa. Tietomallintami-  
sesta saatujen uusien toimintamallien ja niistä saatavien hyötyjen avulla voidaan  
vähentää hankkeen kokonaiskustannuksia. Laadunparantumisen lisäksi koko-  
naiskustannuksiin vaikuttaa myös aikataulun tehokkaampi ja vakaampi hallitse-  
minen. Tarkempi aikataulutus on näin mahdollista, sillä tietomallintamisen avulla  
aikataulun määrittäminen selkeytyy sekä yksinkertaistuu ja tämän lisäksi tiedon-  
siirto rakennushankkeen eri osapuolten välillä muuttuu sujuvammaksi. (Eastman  
ym. 2011, 19–29; Henkilökohtainen tiedonanto.)

Eri osapuolten välinen tiedonsiirto on aiheuttanut ongelmia jo pitkään infra-alalla.  
Mallin avulla rakentamisessa väärinymmärrysten todennäköisyys pienenee ra-  
kentamisen aikana, joka edesauttaa hankkeen onnistumista halutulla tavalla. Uu-  
distuneen rakennustavan tarkoituksena ei ole lisätä työmäärää tai henkilökustan-  
nuksia. Lähtökohtana on, että tietomallintamisesta tulisi luonnollinen osa infra-  
alan toimintaprosessia kaikkien hankkeeseen osallistuvien tahojen osalta koko  
rakennusvaiheen ajan, ja sitä hyödynnettäisiin lisäksi ylläpidon apuvälineenä.  
(Mäkinen 2014, 6.)

Tietomallintaminen yleistyy sillanrakentamisessa ja tarjouskilpailun toteuttaminen kokonaan mallipohjaisena mahdollistuu. Tämä vaatii kuitenkin pilottihankkeista saatavan hyödyn jalostamista eteenpäin ja uusien toimintatapojen ja menetelmien kokeilua. Tavoitteeseen pääsyn vaatimuksena on mallien virheettömyys ja hyödyntämiskelpoisuus alan kaikissa järjestelmissä. (Mäkinen 2014, 4–6; Salminen 2015.)

### 2.3 Toteumamallin laadinta ja tarkoitus

Toteumamalli, sen laadinta ja hyödyntäminen ovat oleellinen osa laadunvarmistamista (Palviainen 2014, 4). Toteumamallin avulla rakentamisen laadusta tulee läpinäkyvämpää, jolloin huonoa laatua ei ole mahdollista peitellä laadunvarmistuksen siirtyessä ennakoivaan laadunvarmistukseen (K. Laatonen, henkilökohmainen tiedonanto 7.4.2015). Mallin tarkoituksena on toimia tilaajalle lähtötietona omaisuuden hallinnalle ylläpitoprosessissa ja todentaa rakenteen geometrinen laatu ja vaatimusten mukainen toteutus. Urakoitsijalla tietomallin avulla rakentaminen avaa mahdollisuuden kustannuksellisesti ja aikataulullisesti tehokkaampaan ja varmempaan työskentelyyn, mikä helpottaa urakan hallintaa. (Palviainen 2014, 4.)

Hyvälaatuisten mallien tuottaminen on mielekkäämpää, kun laatuun kiinnitetään huomiota koko rakennushankkeen ajan tehtäessä jatkuvaa yhteistyötä sidosryhmien kesken. Laadunvarmistusta ohjaa infra-alalle hyväksytyt avoimeen standardiin pohjautuvat tietomallinnuksen vaatimukset. Näitä ohjeita, vaatimuksia ja määräyksiä tullaan muokkaamaan ja täydentämään muun muassa pilottihankkeista saatavan palautteen avulla. (Mäkinen 2014, 6–9; Salmi ym. 2015. Infra FINBIM Tiedotuslehti 2015 web, 7.)

Lähtökohtaisesti toteumamalli laaditaan kaikista rakennetun kohteen rakennusosista. Sen laadinnassa käytetään liikenneviraston tietomalliohjeita pohjana sen vaatimukseen ja määräyksiin. Lisäksi voidaan hyödyntää kaupunkien omiin käyttötarkoituksiin tuotettuja mallinnusohjeita. Muun muassa Helsingin kaupunki on tuottanut esimerkiksi siltakohteiden mallinnuksen tueksi erillisen taitorakenteiden

tietomallinnusohjeen. Mallinnukseen liittyen mahdollisista poikkeuksista voidaan sopia kohdekohtaisesti. Toteutusmallia pidetään toteumamallina, kun urakkakoh- taisten laatuvaatimusten tai hyväksytyn laatusuunnitelman erittelemät rakennus- pinnat ovat esitettyinä siinä oikealla tavalla toteuman mukaisesti. Kun toteutus- mallia päivitetään rakentamisen aikana, on sen hetkinen voimassa oleva to- teumamalli se kyseinen toteutusmalli, jolla rakentaminen on tehty. Toteumamalli pitää sisällään kunkin rakenneosan tarkemittaukset ja toteumapisteet, jotka nä- kyvät pistemäisinä tietueina. Ne voivat olla joko mittaushenkilöiden toimesta mit- taamia tai työkoneen avulla mitattuja. (Palviainen 2014, 10, 16; Henkilökohtainen tiedonanto; HKR 2014, 11–19.)

Toteumamallin hyötynä on, ettei aikaa ja resursseja enää kulu turhaan valmiin rakenteen sisällön selvittämiseen. Tällä tavoin hoidon ja kunnossapidon täsmäl- lisyys paranee ja rakenteen elinkaaren lyhenemistä edesauttavat virheelliset hoi- don ja kunnossapidon toimenpiteet vähentyvät. Toteutusmallin avulla urakoitsijat pystyvät tuottamaan haluttua laatua paremmin, sillä heille on annettu toteutus- mallissa jo laatukriteerit täysin yksiselitteisesti. (K. Laatunen, henkilökohtainen tiedonanto 7.4.2015.)

Mallin lisäksi laaditaan sitä täydentävä tietomalliselostus, josta käy ilmi toteuma- mallia koskevat perus- ja tunnistetiedot. Lisäksi tarkemittauksista laaditaan yh- teenvetoraportit rakenneosittain, jossa esitetään vaaditut ja toteutuneet mitat, to- leranssit ja mahdolliset poikkeamat ja niiden syyt. Liikenneviraston tekemän sil- tojen tietomalliohjeen vaatimusten ja määräysten mukaisesti laaditun tietomallin avulla sillan toteumamalli korvaa perinteiset laadunvarmistusdokumentit geomet- risen laadun osalta. (Palviainen 2014, 28–30.)

## 2.4 Tietomallin nykytilanne ja kehitys

Tietomallintamisen kehitys on jatkuvaa, ja sen avulla tuotetun toteumamallin käyttöönotto on yleistymässä infrarakentamisessakehityksen. Rakennusalan toi- mintakulttuurin muokkaantuessa on ajatustavan uusiutuminen sekä menetelmien

ja toimintatapojen konkreettinen muuttaminen avainasemassa. (Salmi ym. 2015. Infra FINBIM Tiedotuslehti 2015 web, 4–6.)

Suurimpien infratilaajien mallintamistavoitteista on syntynyt tarve jalostaa alalle yleiset määräykset ja ohjeet. Rakennustietosäätiön erityispäätoimikunta BuildingSMART Finland julkaisee alalle Yleiset inframallivaatimukset toukokuussa 2015. Ne tulevat toimimaan ohjeistuksen lisäksi hankintojen yleisinä teknisinä viiteasiakirjoina. Ohjeiden valmistelutyössä ovat olleet mukana RYM Oy:n PRE-ohjelman Infra FINBIM -työpakettin osapuolet vuoden 2014 kesään asti, jolloin tämän jälkeen työtä ovat jatkaneet BuildingSMART Finland Infra -toimialaryhmä. Lisäksi ohjeiden laadinnan osapuoliin ovat lukeutuneet monet alan yritykset, ja palautetta on saatu useilta infran toimijoilta ja organisaatioilta. Näiden ohjeiden luomisen apuna on käytetty kymmeniä pilottikohteita ja alan asiantuntijoita ympäri Suomen. Yleisiä Inframallivaatimuksia täydennetään tulevaisuudessa, jotta koko rakennusalan ohjeistuksesta tulee yhtenevä ja sitä voidaan hyödyntää myös esimerkiksi aluerakennushankkeissa. (Salmi ym. 2015. Infra FINBIM Tiedotuslehti 2015 web.)

Yleisten inframallivaatimuksien (YIV) laadintaa ovat tukeneet edellä mainittujen lisäksi monet Suomen kaupungeista, joista esimerkiksi Helsingin kaupunki on lisäksi laatinut Yleisten Inframallivaatimuksien tueksi muun muassa taitorakenteiden tietomalliohjeen (HKR 2014) sekä ohjeistavan pohjan inframalliselostuksen laatimiseen. Helsingin kaupungin ohella muita kaupunkijäseniä ovat Espoo, Vantaa, Turku, Tampere, Oulu ja Lahti. Kaupungit ovat toimineet esikuvana muille ottamalla mallintamisen käyttöön verrattain jopa kaikissa hankkeissaan ja hyödyntämällä sen tuomia mahdollisuuksia tulevaisuuden suunnitelmissaan. Esimerkiksi Espoon kaupunki vaatii yhä suuremmissa määrin mallintamisen käyttöä koneohjauksen ja suunnittelun toteutuksessa. (Salminen 2015; Salmi ym. 2015. Infra FINBIM Tiedotuslehti 2015 web, 5–7; Helsingin kaupungin rakennusvirasto HKR 2014.)

Toteumamallin kannalta tieto on kuitenkin vielä suhteellisen vähäistä pilotoinnin vasta käynnistyttyä. Tämän takia yhtenä kehitysasiana ovat toteumamallin hyödyntämistavat laadunvarmistamisen ja laadunvalvonnan lisäksi ylläpidossa. (Salminen 2015; Salmi ym. 2015. Infra FINBIM Tiedotuslehti 2015 web, 5–7.)

Myös Tampereen kaupunki on tehostanut mallinnuksen käyttöä hankkeissaan. Sen tarkoituksena on muun muassa kerätä jatkossa hankkeiden lähtötiedot kaupungin tietomallipalvelimelle, jolloin toteumat ja tarvittavat lähtötiedot ovat helpommin kaikkien osapuolten saatavissa. Tällöin uudelleen suunnittelun ja mittauksen tarvetta ei synny. Tavoitteena on, että tulevaisuudessa malli olisi paremmin tilaajan omaisuutta ja sijaitsisi tilaajan palvelimella. Näin suunnitelmien ja toteuman tarkastelu onnistuisi reaaliaikaisesti 3D-näkymänä. Suurissa projekteissa mallinnuksen käyttö on hankkeen laadun ja organisoinnin suhteen koettu välttämättömäksi. (Salmi ym. 2015. Infra FINBIM Tiedotuslehti 2015 web, 10–11.)

Oulun kaupunki suunnittelee laativansa kaupungin omaan käyttöön soveltuvat mallintamisen ohjeet toukokuussa julkaistavien Yleisten Inframallivaatimusten ja pilottikohteista saatujen kehitysehdotusten myötä. Kaupunki suunnittelee ja rakentaa nykyisin kaikki infrahankkeensa mallintamista ja työkoneautomaatiota hyödyntäen, sillä se on todettu toimivaksi tavaksi. Kaupunki rakentaa tällä hetkellä suuria uudisalueita sekä muuntaa asuinkäyttöön teollisuusalueita keskustan lähituntumassa. Rakentamisen aikana on otettu tavoitteeksi tallentaa ylläpitojärjestelmään kaikki hankkeiden mittaus- ja ominaisuustiedot. Tämän lisäksi Oulussa on keskitytty tietomallipohjaiseen laadunvalvontaan, jonka avuksi pilottihankkeeseen on tuotettu muun muassa tietomalliprosessipohjainen ja koneohjautun maarakentamisen laadun varmistava mittausuunnitelma. (Salmi ym. 2015. Infra FINBIM Tiedotuslehti 2015 web, 18. )

Viime vuosina esiin noussut uusi ajatus tietomallintamisesta osana tulevaisuuden infrarakentamisesta on saanut laajaa kannatusta niin rakennuttajien, tilaajien, urakoitsijoiden kuin suunnittelijoidenkin puolelta. Osaltaan pilottikohteiden tarjoukset on laadittu hintatasoltaan yllättävänkin maltillisesti huolimatta siitä, että toteumamallin laadinnan myötä osa aikaisemmin suunnittelijan tekemästä työstä

on siirtynyt urakoitsijalle. Tarjouksen hintoihin varmasti osaltaan vaikuttaa myös Suomessa vallitseva markkinatilanne, mutta tulevaisuudessa tietomallintaminen ei ainakaan tule nostamaan hintatasoa. (Salminen 2015, <http://www.infra-bim.fi/espoo-kiristaa-mallinnusvaatimuksia-asteittain/>; Salmi ym. 2015. Infra FIN-BIM Tiedotuslehti 2015 web, 14–15. ).

Liikennevirasto on kehittänyt ja laatinut vuoden 2014 aikana tavoitekuvauksen mallintamisen asteittaisesta käyttöönotosta, minkä lisäksi on esitetty kehittämisen tueksi pienempiä välitavoitteita. Liikennevirasto on omalla toiminnallaan edistänyt inframallintamisen käyttöönottoa 1.5.2014 tapahtuneen muutoksen myötä, ja se on sisällyttänyt mallinnuksen osaksi tulostavoitettaan. Tämä on tarkoittanut sitä, että kaikissa 1.5.2014 jälkeen aloitetuissa hankkeissa ovat Liikennevirasto ja suuret tilaajat edellyttäneet Inframodel 3 -tiedonsiirtoformaatin käyttöönottoa, jolloin Inframodel 3 -vaatimus on korvannut Inframodel 2 -vaatimuksen. Tällöin esimerkiksi taitorakenteiden formaattivaatimukseksi tiedonsiirtoon on tullut IFC. (Perttula 2014.)

Liikenneviraston julkaisema Siltojen tietomalliohje on ollut käytössä maaliskuusta 2014 lähtien. Maaliskuun 2015 aikana on julkaistu Inframodel 3.1 -versio, jonka tarkoituksena on täydentää tietomallinnusvaatimuksia kaukolämpöverkostojen, johto- ja kaapelitietojen, stabiloinnin ja paalutuksien osalta. Kyseistä versiota on odotettu julkaistavan, sillä mallinnuksen ohjeistus niiden osalta on huomattavan tärkeää. On myös toivottavaa, että verkostojen omistajat panostaisivat tulevaisuudessa verkostojen 3D-malliin, jotta kaivojen ja putkien sijainnit olisivat helposti havainnoitavissa. Tämä vaikuttaisi laajalti konekuskien työskentelyssä vaurioriskin pienentymiseen. (Salmi ym. 2015. Infra FINBIM Tiedotuslehti 2015 web; Liikennevirasto, 2014, 5.)

Vaikkakin mallinnus on otettu hyvin vastaan, riittää sen suhteen silti työskarkaa. Asia on kaikille uusi ja vielä vieras, minkä voisi kuvitella saavan osapuolien helposti turvautumaan tuttuun ja turvalliseen rakennustapaan sekä perinteiseen laadunvalvonnan menetelmiin. Suomen on kuitenkin havaittu olevan joissain osin tietomalliosaamisessa edelläkävijä verrattuna moniin muihin maihin. Meillä kehittämisen apuna on aikailematta hyödynnetty mallintamisen pilottikohteita, jotka

ovat oleellisia ohjeiden, määräyksien ja vaatimusten kehittämisessä ja täsmen-  
tämisessä lopulliseen muotoonsa. Meillä mallintaminen on koettu yleisesti ottaen  
enemmänkin mahdollisuudeksi kuin uhaksi. (Salmi ym., 2015. Infra FINBIM Tie-  
dotuslehti 2015 web; Salminen 2015, [http://www.infrabim.fi/espoo-kiristaa-mallin-  
nusvaatimuksia-asteittain/](http://www.infrabim.fi/espoo-kiristaa-mallin-<br/>nusvaatimuksia-asteittain/).) Ruotsiin ja Iso-Britanniaan verrattuna on Suomi kui-  
tenkin vielä jäljessä laadunvarmistuksen ja laadunvalvonnan osalta. Tuottavuu-  
den ja laadun oleellinen nousu olisi mahdollista, jos otamme oppia Euroopassa  
ja muualla maailmassa käytettävästä vesirakentamisen laadunvarmistamisesta  
ja -valvonnasta myös maarakentamisen leikkaus- ja rakennekerrostoissa. Uuden  
rakentamistavan käyttöönotto on saatu aluilleen pääosin Infra FINBIM:n kautta,  
mutta jatkuva kehitys vaatii lisäksi suurempaa panostusta myös valtion vallan  
avulla muun muassa mallinnuksen käyttöönoton ja tuottavuuden kasvun vaatimi-  
sen kautta. (K. Laatunen, henkilökohtainen tiedonanto 7.4.2015.)

Urakoitsijoista osa hyödyntää jo työssään koneohjauksella varustettuja kaivuko-  
neita ja jyriä, vaikkei näitä vaadita vielä muissa kuin tietomallintamisen pilotointi-  
hankkeissa. On mahdollista, että mittaukseen käytettävä resurssitarve osaksi vä-  
henee, kun tiedot koneohjausmallista menee suoraan kaivukoneelle. Tiedon ja  
osaamisen jatkuvan kehityksen myötä mallinnuksen vaatimuksia tullaan asteit-  
tain korottamaan mallinnuksen käyttöasteen noustessa. (Salmi ym. 2015. Infra  
FINBIM Tiedotuslehti 2015 web, 11; Salminen 2015).

Monissa tämänhetkisissä pilottikohteissa on kuitenkin havaittu mallipohjaisen  
suunnitteluohjelmiston opetteluun menevän vielä huomattavan paljon aikaa. Li-  
säksi monissa pilottihankkeissa tietomallintamisen merkitys tilaajalle sekä ura-  
koitsijalle on selkeämmin kirkastunut vasta hankkeen edetessä. (Salminen 2015;  
Salmi ym. 2015. Infra FINBIM Tiedotuslehti 2015 web, 11–13.) Mallien laadinnan  
yhtenä haasteena onkin niiden selkeän käyttötarkoituksen määrittäminen tar-  
peeksi ajoissa (K. Laatunen, henkilökohtainen tiedonanto 7.4.2015).

Tavoitteena olisi kuitenkin luoda toteumamallista ylläpidon ja korjausrakentami-  
sen kannalta yksi oleellisimmista työkaluista. Esimerkiksi pitkälle jalostetun ja hy-  
vin toimivan toteumamallin hyödyntäminen mahdollistaa tilaajan omaisuuden hal-  
linnan tason nousun, ja täten sen avulla saavutetaan taloudellisia hyötyjä. Tätä



voidaan käyttää apuna muun muassa valtion mittavan väyläomaisuuden hallinnassa. Tällä tavoin edesautetaan rakennetun ympäristön ylläpitoa ja korvaustarpeen selvittäminen helpottuu. BuildingSMART Finland infra -toimialaryhmä on kehittänyt ja asettanut mallintamisen tavoitteita vuoteen 2025. Tähtäimessä on, että suunnittelun ja tuotannon prosessit olisivat vuoteen 2025 täysin digitalisoitu, mikä parantaisi Suomen tuottavuutta ja kilpailukykyä. (Salminen 2015; Salmi ym. 2015. Infra FINBIM Tiedotuslehti 2015 web, 11–13.) Tuottavuuden parantumisesta on joissakin maissa saatu jo konkreettista näyttöä. Esimerkiksi Iso-Britanniassa saavutettiin mallinnuksen avulla 15 %:n tuottavuuden kasvu etuajassa, joten tavoitetta nostettiin 25 %. (K. Laatonen, henkilökohtainen tiedonanto 7.4.2015.)

Ohjelmistojen kehittäminen mahdollisen nopean ja helpon mallintamisen toteutukseksi tulee olemaan tärkeää. Joidenkin osien mallintaminen on vielä tällä hetkellä pitkälle käsityötä, esimerkiksi liittymien detaljien toteutus. Tässä tapauksessa tarkkuuden hyödyllisyys mallintamisessa herkästi kyseenalaistetaan siihen kuluvaan ajallisten resurssien takia suhteessa työn toteutukseen työmaalla. (Salminen 2015.) Tuottavaan käyttöön tietotekniikka tulee infra-alalle vasta tietomallinnuksen kautta. Tähän mennessä sitä on hyödynnetty vain sekundääristen asioiden tekemiseen. Nyt tarkoituksena on tuottavuuden ottaminen irti myös primääristen asioiden eli lopputuotteiden tuottamisessa. Tällä tavoin kehitys tekee Infra-alan turvallisemmaksi ja viihtyisämmäksi alaksi tulevaisuudessa. (K. Laatonen, henkilökohtainen tiedonanto 7.4.2015.)

Lähtökohtaisesti mallintaminen, sen käyttöönotto ja hyödyntäminen ovat riippuvaisia vain hankkeiden osapuolista, sillä vaikkakin osa rakennesuunnitelmista on havaittu tarpeellisiksi esittää myös piirustuksin, kehittyä teknologia jatkuvasti, jolloin tietomallintamisen hyödyntäminen ei siitä ainakaan tule olemaan kiinni. Jatkuva muutos mahdollistaa jatkossa osaavamman ja tehokkaamman tietomallintamisen maailman. (Perttula 2014; Salminen 2015.) Selvää on, mallintamisen tulon myötä liiketoiminnot infra-alalla tulevat myös osaksi muuttumaan. Tuottavuuden ja mallintamisen kehityksen aikataulun määrittää kuitenkin jokainen alalla

työskentelevä. Tuottavuus on kiinni liiketoiminnan, ihmisten, prosessien ja teknologian yhteistoiminnasta. Liiketoiminnan muuttumisen myötä on todennäköistä, että ne yritykset, jotka eivät osaa mallintamista omassa liiketoimissaan hyödyntää, eivät tule alalla enää menestymään. (K. Laatunen, henkilökohtainen tiedonanto 7.4.2015.)

### 3 LAADUNVARMISTAMINEN JA -VALVONTA SILLANRAKENNUKSESSA

#### 3.1 Laatuvaatimukset ja niiden valvonta ja todentaminen sillanrakentamisessa

Sillanrakennushankkeessa laadun valvontaa tehdään koko hankkeen ajan. Vaatimustenmukaisen rakentamisen laadun saavuttaminen ja laadunvarmistuksen asianmukaiseen toteuttamiseen parhaimmat keinot ovat yksityiskohtaisten ja laadukkaiden rakennesuunnitelmien tuottaminen, selkeät tuotantosunnitelmat, jatkuva laadun ohjaus, työvaiheittainen laaduntarkastus ja moitteeton laaturaportointi. Suunnitelmat tulee olla muodostettu selkeästi ja loogisesti huomioiden InfraRYL:n ja muiden sopimusasiakirjojen asettamat vaatimukset, ja ne tulee toimittaa tilaajan edustajalle noudattaen sopimusasiakirjoissa ilmeneviä aikarajoja. Mahdollisiin suunnitelmien muutoksiin tulee hankkeen osapuolien hakea tilaajan edustajalta lupa ennen töiden aloittamista. Laadunvarmistamisen tueksi on laadittava myös vaadittujen suunnitelmien lisäksi urakan laatusuunnitelma, työvaiheen laatusuunnitelma ja tekninen työsuunnitelma. (RTS ym. 2006, 77–79.)

Rakentamisen aikana laadunvalvontaa suoritetaan muun muassa vertaamalla mittatarkkeiden ja -pisteiden toteutuneita tuloksia suunnitelmiin ja sallittuihin toleransseihin. Rakentamisessa huomioitavat raja-arvot ja hylkäämisrajat käyvät ilmi InfraRYL:stä ja hankkeen asiakirjoista. Rakentamisvaiheiden dokumentointiin käytetään yleisesti valokuvausta. Myös mahdolliset poikkeamat ja virheet on tärkeää saada dokumentoitua valokuvoin. Tällöin valokuvaus helpottaa asioihin palaamista myöhemmin hankkeen edetessä. Urakoitsija on velvollinen tekemään sillasta kaksiosaisen *sillan kelpoisuusasiakirjaksi* nimetyn laaturaportin, ja luovuttamaan tämän tilaajalle työn valmistuttua. (Peltokorpi ym. 2006, 11,13–18; RTS ym. 2006, 12, 27–37, 73–77.)

Sillan uudis- ja korjausrakentamisen laadunvalvonnan tarkasteltavia rakennusosia ja työvaiheita sillan laadunvarmistuksessa ja -valvonnassa ovat sillan päämitat, pohja- ja maanrakennustyöt, peruslaatat, pääty- ja välituet, päällysrakenne,

kannen pintarakenteet sekä varusteet ja laitteet. (Peltokorpi ym. 2006, 13–16; RTS ym. 2006, 27–37, 73–77; Henkilökohtainen tiedonanto.)

Pohja- ja maanrakennustöissä huomio kiinnitetään pohjasuhteisiin, kaivu- ja louhintatöihin, täyttöihin sekä uomiin ja väyliin. Näiden lisäksi tarkkaillaan työpatoja, maanpohjan vahvistuksia, lyöntipaalutuksia ja suurpaalutuksia. Peruslaatoissa tarkastellaan sijainnin ja mittatarkkuuden lisäksi betonipeitteen paksuutta, tartuntojen sijaintia, pintoja sekä raudoitusta ja betonitöitä. Pääty- ja välitukien osalta katsotaan edellä mainittujen lisäksi betonipintojen verhousta, kosteuseristystä ja betonipintojen suoja-ainekäsittelyä. Päälysrakenteessa laadunvalvonta kiinnittyy pääasiassa sijaintiin ja mittatarkkuuteen sekä betonipeitteen paksuuden, pintojen, raudoitus- ja betonitöiden lisäksi jännittämistöihin, elementti-, puu- ja teräsrakenteisiin ja teräsrakenteiden pintakäsittelyyn ja sen laatuun. Kannen pintarakenteita tarkastellessa varmistetaan betonin eristysalustan, eristyksen ja sen suojauksen sekä sillan päällysteen laatuvaatimusten täyttyminen. Sillan varusteiden ja laitteiden osalta varmistetaan liikuntasauvojen sekä laakerien ja nivelten laatuvaatimusten täyttyminen. Näiden lisäksi kiinnitetään huomiota myös siirtymälaattoihin ja suojalaitteisiin (esim. kaiteet ja reunatuet) sekä muihin varusteisiin, kuten tippu- ja pintavesiputkiin ja salaojiin. Laadun määräyksiä ja vaatimuksia ohjaa Rakennustietosäätiön julkaisema InfraRYL 2006. (Peltokorpi ym. 2006, 13–20; RTS ym. 2006, 27–37, 73–77; Henkilökohtainen tiedonanto.)

Mittausmenetelmien ja -välineiden tulee olla valittu siten, että suunnitelma-asiakirjojen tarkkuusvaatimukset saavutetaan. Valmiin sillan osalta noudatetaan InfraRYL 2006:n tarkkuusvaatimuksia, ellei hankkeen suunnitelma-asiakirjoissa ole toisin sanottu. (Peltokorpi ym. 2006, 13, 15–17; RTS ym. 2006, 27–37, 73–77.)

### 3.1.1 Laadunvarmistaminen urakoitsijan näkökulmasta

Urakoitsijalle asiakirjoissa vaaditun laadun todentaminen ja vaatimusten täyttyminen on tärkeää myös hankkeen taloudellisten resurssien kannalta. Kerralla hyvin tehty työ on huomattavasti parempi vaihtoehto kuin huonosti tehty vaatimuk-

sia täyttämätön työ, jolloin joudutaan purkamaan ja tekemään sama työ uudelleen. Tämä sekoittaa työmaata aikataulullisesti ja henkilöresursseiltaan, mikä vaikuttaa katteeseen negatiivisesti.

Rakennustietosäätiön RTS:n vuonna 2006 julkaiseman InfraRYL osa 3 mukaisesti urakoitsija tarkkailee tämän opinnäytetyön aikaisemmassakin luvussa mainittujen rakenteiden, rakennusaineiden ja työmaan muun organisoinnin laatua virheiden ja riskien minimoimiseksi. Toteumamallin hyödyntäminen myös tässä, on jo nyt ja varsinkin tulevaisuudessa suurena apuna, kun pyritään mahdollisimman toimivaan työmaahan ja hyvään rakentamisen laatuun. (RTS ym. 2006, 73–82.)

Urakan laatusuunnitelma on sopimuskohtainen suunnitelma, josta käy ilmi muun muassa työmaan henkilöorganisaatio, laadunvarmistuksen apuneuvot (esimerkiksi SILAVA) ja työvaiheiden tarkkuudella esitetty rakentamisaikataulu. Näiden lisäksi laatusuunnitelmassa on selvitetty mahdollisiin riskeihin ja poikkeustilanteisiin varautuminen, töiden laadunvarmistus ja käytäntö laatupoikkeamien kanssa. (RTS ym. 2006, 78.) Urakan laatusuunnitelmaa seuraa työvaiheen laatusuunnitelma, joka on laadittava kaikista urakan työvaiheista. Työvaiheen laatusuunnitelmasta tulee käydä selväksi työn toteutustapa ja menettelyt sekä niiden lisäksi muun muassa tieto työnaikaisen laadunvarmistuksen toteutustavoista ja toleransseista. (RTS ym. 2006, 78.)

Työn toteuttamiseen edellyttävistä resursseista, kalustosta, työtavoista ja -vaiheista kertoo enemmän työkohtaisesti laadittava tekninen työsuunnitelma. Suunnitelmassa selvitetään myös noudatettavat vaatimukset ja työtä selkeyttävät ohjeet sekä työaikataulu. Tietomallintamisen kehitys antaa mahdollisuuden näiden laatudokumenttien linkittämisen suoraan toteumamalliin reaaliajassa. Suunnitelmat olisivat täten linkitettävissä haluttuun rakenneosaan mallissa, jolloin niiden löytäminen olisi yksikertaista ja vaivatonta verrattaessa paperidokumentointiin tai siihen, että dokumentit olisi haettava sekalaisesti yksittäin projektipankista. Tämä selkeyttää myös dokumenttien laadinnan ja sisällön seuraamista ja mahdollistaa suunnitelmien kommentoinnin vaivattomasti ja aikaisempaa varhaisemmassa vaiheessa. (RTS ym. 2006, 78.)

Työn laatua valvotaan ja tarkkaillaan työn aikana vaatimustenmukaisuuskokeiden ja -mittauksien avulla. Vaatimustenmukaisuuskokeet laaditaan suunnitelma-asiakirjojen ja viiteasiakirjojen mukaisesti ja toteutetaan niin, että tilaaja on niistä tietoinen. Vaatimusmittaukset toteutetaan urakoitsijan erikseen laatiman mittaus-suunnitelman avulla. Vaatimustenmukaisuuskokeiden pohjalta laaditaan vaatimustenmukaisuuskokeiden pöytäkirja, jonka tarkoituksena on kertoa yksityiskohdaisesti siitä, mitä mitattiin ja miksi, sekä lisäksi selventää tilaajalle kokeiden tulokset, toteutustapa, tuloksien vaatimukset ja havainnollistaa mahdollisia toleranssin ylitykset. Pöytäkirjat sisältävät myös kokeista laaditut poikkeamaraportit, jos mittauskokeen tulos ei ole täyttänyt sille asetettuja vaatimuksia. Jokaisesta poikkeamasta tulee ilmoittaa tilaajalle välittömästi. Poikkeamasta laaditaan aina erikseen poikkeamaraportti, jossa kerrotaan muun muassa poikkeamaan johtanut syy ja mahdollinen korjaustapa. (RTS ym. 2006, 78–80.)

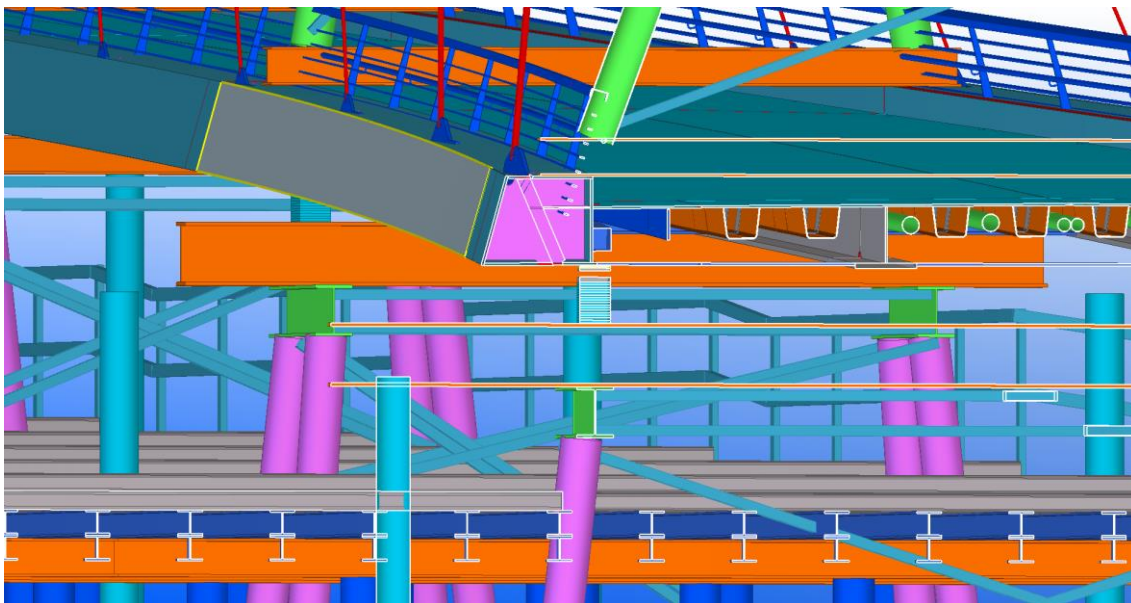
Mittasuunnitelmassa mittaukset on jaettu InfraRyl-ohjeiden ja vaatimusten mukaan kolmeen osioon: runkomittaus, tarkkailutapit ja niiden sijaintimittaukset ja työnaikaiset mittaukset. Työnaikaiset mittaukset jaotellaan paikalleen mittauksiin, tarkistusmittauksiin, vaatimustenmukaisuusmittauksiin ja muodonmuutos- ja siirtymämittauksiin. Ellei asiakirjoissa ole toisin mainittu, tulee tarkkuusvaatimuksissa noudattaa InfraRYL:n luvun 42001 tarkkuusvaatimuksia. Mittauksien avulla varmistetaan ja todetaan sillan vaatimuksenmukaisuus ja osoitetaan sillan rakennosien koordinaatit ja pisteiden koodit. (RTS ym. 2006, 81.)

Urakoitsijan tulee laatia yllä mainittujen mittausten toteutusta varten urakkakohmainen mittausuunnitelma, jossa on huomioitu urakka-asiakirjoissa ja InfraRYL 3:n esitetyt vaatimukset ja määräykset. Mittausuunnitelmissa tulee esittää mittauksista vastaava henkilö, mittauskalusto ja sen kalibrointi, mittauksen lähtöpisteet ja rakennettavat apupisteet. Näiden lisäksi suunnitelmissa esitetään periaatteet mittausten tarkkuuden kontrolloimiseen, mitattavat kohteet ja tulosten dokumentointi. Urakoitsijan mittausjohtajan tulee olla tarvittavan pätevyyden omaava henkilö, esimerkiksi rakennusmestari, jolla on mittauksista kokemusta. Mittaukset tulee toteuttaa tehtyjen laatusuunnitelmien mukaisesti ja mittaus on suorit-

tava myös mahdollisen poikkeamasta johtuvan korjauksen jälkeen. Tiedot tulok-  
sista tulee ilmoittaa välittömästi tilaajalle ja urakoitsijan tulee osoittaa vaadittuun  
tarkkuuteen pääseminen laskelmin. Mittaustulokset kootaan ja lisätään sillan laa-  
turaporttiin. (RTS ym. 2006, 77, 80–81.)

Laaturaportin tarkoituksena on koota yhteen rakentamisaikaiset tiedot ja tulok-  
set ja todentaa tilaajalle vaatimustenmukaisuuden täyttyminen. Rakennusteknis-  
ten laatuvaatimusten lisäksi urakoitsijan tulee esittää laaturaportissa yhteenveto  
vaatimusten täyttymisen osalta. Laadun tulee vastata sille asetettuja vaatimuksia  
sillan, sen osien ja käytettyjen rakennusaineiden osalta. Rakenteisiin jääneet  
poikkeamat sekä niistä johtuvat arvonalennukset tulee myös käydä selville ura-  
koitsijan laatimasta laaturaportista. Näiden lisäksi tulee urakoitsijan esittää oma  
mielipiteensä sillan rakennussuunnitelmien laadusta ja tuoda esille mielipiteensä  
hankintamenettelyn osalta. Liitteeksi laaturaporttiin on urakoitsijan sisällytettävä  
tuotantosuunnitelmat, toteumapiirustukset, pöytäkirjat vaatimustenmukaisuusko-  
keista, yhteenvetoraportit rakenne- ja työkohtaisesti sekä muistiot. Näiden lisäksi  
laaturaportin liitteeksi on tultava myös poikkeamaraportit ja korjaussuunnitelmat.  
Vaatimustenmukaisuuden täyttymiseen vaikuttaa laaturaportin lisäksi tilaajan te-  
kemien pistokokeiden tulokset. (RTS ym. 2006, 76–80; Peltokorpi ym., 2006, 9–  
10.)

Aikaisemmin urakoitsija on perinteisesti dokumentoinut mittausuunnitelmat tu-  
loksineen osaksi hankkeen projektinpankin tietoja ja lisäksi kansioinut asiakirjat  
ja mitta-aineiston työmaatoimistossa. Tietomallintaminen mahdollistaa dokumen-  
toinnin vaivattomammin ja selkeämmin. Tällöin mittausaineisto linkitetään ajan  
tasaisena toteumamalliin (kuva 4). Tällöin se on helposti katsottavissa milloin ta-  
hansa kaikkien hankkeen osapuolien välillä. Tämä tulee yleistyessään vähentä-  
mään dokumentointiin kuluva aikaa ja vaivaa ja tekemään dokumentoinnista  
varmemman toimintatavan. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. Tietomallin-  
nus.)



Kuva 4. Rakennusvaiheen toteutuneesta ja suunnitellusta koostuva sillan ylläpitomalli (Seppo Rantala Oy).

Myös Isoisänsillan rakennushankkeessa tietomallin hyödyntäminen on koettu positiiviseksi asiaksi. Mallintaminen on vaatinut urakoitsijan ja suunnittelijan tekemään enemmän yhteistyötä keskenään koko rakentamisen ajan. Tämä on ennaltaehkäissyt väärinymmärrysten syntyä ja tehostanut virheiden havainnointia. Mallinnus on helpottanut myös työmaan aikataulun hahmottamista ja sen seuraamista. Aikataulun linkitys osaksi tietomallia on koettu hyödylliseksi, ja sitä on käytetty apuna kokouksissa. Aikataulun käytön luontevuudessa ja sen muokkaamismahdollisuuksissa on kuitenkin koettu olevan vielä kehittämisen varaa. (A. Kopra, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.)

### 3.1.2 Laadunvarmistaminen ja -valvonta tilaajan näkökulmasta

Tilaajan näkökulmasta hankkeen etenemisen seuraaminen ja laadunvalvonta on erittäin tärkeää toteuttaa säännöllisesti ja hyvällä asiantuntemuksella koko rakentamishankkeen aikana. Näin ollaan jatkuvasti perillä työmaan tapahtumista ja rakennusvaiheista, sekä myös mahdollisten virheiden ja poikkeamien havainnointi ja niiden minimointi on tällöin varmempaa. (Mäkinen 2014, 6; RTS ym. 2006, 76–77.)



Tilaajalla on oikeus antaa urakoitsijalle huomautus, jos tilaaja havaitsee urakoitsijan työsuorituksessa virheen. Tällöin urakoitsijan tulee korjata huomautetut puutteet välittömästi. Vakavan virheen osalta tilaajan edustajan tai valvojan tulee tehdä asiasta kirjallinen huomautus urakoitsijalle, jos virhettä ei viipymättä korjata tai korjaamatta jättäminen aiheuttaisi huomattavia lisäkustannuksia, vaaraa tai vahinkoa. Tulee kuitenkin huomioida, että tilaajan puolesta tapahtuva valvonta ei rajoita eikä vähennä sopimuksenmukaista vastuuta urakoitsijalta. (Mäkinen 2014, 6; RTS ym. 2006, 76–77; YSE 1998, 13.)

Laadunvarmistus ei ole rakentamisessa uusi asia, mutta se on osoittautunut monesti työlääksi ja vaativaksi. Laadunvalvonnassa on käytettävä erityistä huolellisuutta, ja valvojan on oltava laadunvalvonnan asiantuntija. Laadunvalvonnan yhtenä ongelmana on ollut valvonnan organisointi ja toteutus. Laadunvalvontaan asiana liitetään monesti kasa paperidokumentteja, tarkkeita ja mittaustuloksia. Tämä jatkuva paperikaaos ja informaation katkokset saattavat koitua valvonnan kohtaloksi monilla työmailla silloin, kun ei ole varmuutta, mikä suunnitelmista on uusin ja missä on mahdollisesti väärinymmärryksiä. Tällöin tulkintatavat saattavat poiketa toisistaan, mikä aiheuttaa ristiriitoja, ja toisaalta informaatiokatkokset tilaajan ja urakoitsijan välillä voivat johtaa siihen, ettei virheitä tunnisteta ajoissa tai niiden tunnistus on hankalaa ja epävarmaa. Siitä syystä on nähty tarpeelliseksi uudistaa laadunvarmistamisen ja -valvonnan menetelmiä ja toimintatapoja, jotta haluttu lopputulos saavutettaisiin ja virheet sekä poikkeamat löydetäisiin ajoissa. (Mäkinen 2014, 6–9.)

Tietomallin hyödyt nousevat muun muassa esille revisioiden määrissä. Isoisänsillassa mallin revisiomäärät ovat jääneet vähäisiksi, mikä on pienentänyt riskiä virheiden syntymiseen päivitysten ja muokkauksien aikana (J. Savolainen, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015). Varmuutta ovat tuoneet myös mallien laadinnan ja päivitysten menetelmät. Päivitykset ovat toteutettu tavalla, jossa malliin on lisätty uutena päivitetyt osat ja poistettu vanhentunut tieto. Tällöin päivitysten aikainen riski mallin muokkautumisesta väärällä tavalla on minimoitu. Tämän lisäksi osa malleista on luotu täysin omana mallinaan. Esimerkiksi konepajamalli

tehtiin erillisenä eikä jaetussa mallissa. (P. Hassinen, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.) Suuri revisioiden määrä varsinkin pilottihankkeissa saattaisi hankaloittaa mallin pitämistä laadukkaana ja oikeanlaisena (J. Savolainen, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015).

Tietomallipohjaiseen laadunvalvontaan siirryttäessä keskeisin tavoite on havaita ongelmat mahdollisimman aikaisin mallin avulla ja korjata ristiriidat sekä puutteet ennen niiden muodostumista suuremmiksi ongelmiksi aikataulun ja kustannuksien suhteen. Tilaajan velvollisuutena on vastata antamiensa lähtötietojen ja suunnitelmien täsmällisyydestä, mutta tilaaja ei ole velvoitettu tarkastamaan mallien virheettömyyttä. Vaaditulla tavalla laadittuna tietomalli antaa toteutuessaan kohteen tiedoista paremman kokonaiskuvan jo rakennushankkeen varhaisessa vaiheessa. (Mäkinen 2014, 6–9.) Jo pelkästään visuaalisen kuvan tarkastelu ja analysointimahdollisuudet helpottavat kokonaiskuvan muodostamista ja suunnitelmavaiheessa suunnitellun rakenteen yhteensovittamista muuhun ympäristöön (A. Kopra, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015).

### 3.1.3 Laadunvarmistaminen ja -valvonta valvojan näkökulmasta

Isoisänsillan rakennushankkeessa mallia on hyödynnetty työmaavalvonnassa Tekla Field3D -ohjelman avulla. Ohjelmaa käytetään työmaolosuhteissa iPadia hyödyntäen. Työmaalla tehdyt havainnot kirjataan ohjelmaan, minkä jälkeen määritetään huomion jakelu. (M. Soronen, henkilökohtainen tiedonanto 8.4.2015.)

Näin toimittaessa esimerkiksi virheellisen työsuorituksen raportointi kuvineen saadaan ilman viivettä siirrettyä urakoitsijan tietoon sidottuna oikeaan kohtaan suunnitelmassa. Mikäli suunnitelmiin on kommentoitavaa, merkitään kommentti suoraan suunnitelmaan oikeaan kohtaan ja laitetaan jakeluna suoraan suunnittelijalle. Tällä menetelmällä saadaan huomiot yksiselitteisesti ja ilman viivettä vietyä eteenpäin. Lisäksi kaikki kommentit kuvineen jäävät malliin muistiin, jolloin ne voidaan sisällyttää lopulliseen tilaajalle luovutettavaan toteumamalliin. (M. Soronen, henkilökohtainen tiedonanto 8.4.2015.)

Urakassa sekä valvojalle että urakoitsijalle on käytössään sama malli, joka sijaitsee projektipankissa hankkeen osapuolien nähtävillä. Ohjelmiston hyödyntämistä alkuvaiheessa vaikeutti sen käyttöön saamisen myöhäinen vaihe. Jatkossa olisikin tärkeää, että jokainen sitä hyödyntävä saa mallin käyttöön itselleen sopivaan käyttöjärjestelmään heti hankkeen alkuvaiheessa. (M. Soronen, henkilökohtainen tiedonanto 8.4.2015.)

### 3.2 Tietomallintaminen laadunvarmistuksessa ja -valvonnassa

Isoisänsillan työmaalla ajantasainen tietomalli on urakoitsijalle merkittävä apuväline laadunvarmistuksen kannalta hankkeen rakentamisen aikana. Ajantasainen toteumamalli toimii urakoitsijalle havainnollistavana yleiskuvan hahmottamisen lisäksi myös tarkastellessa mahdollisia törmäys- ja mittavirhekohtia. (A. Kopra, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.) Toisaalta jos urakoitsija ei kohteessaan pidä mallia samanlaisena työmaalla vastaavan tilanteen kanssa, ei mallista ole saatavissa rakentamisen aikaisen laadunvarmistamisen ja -valvonnan kannalta niin paljoa irti. Ajantasainen malli on siis kaikkien etu, eikä sen kannata antaa laahata perässä missään rakentamisen vaiheessa. Virheen tekemisen mahdollisuus tai riski siitä, ettei virhettä huomata tarpeeksi aikaisin, kasvaa joka kerta, jos mallin päivitys ei ole ajan tasalla. (A. Kopra, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.)

Isoisänsillan rakennusurakassa työmaalla tietomallia päivittää pääasiassa työmaainsinööri. Lisäksi jatkuvaa yhteistyötä sen päivityksessä tekevät urakoitsijan tietomalliasiantuntija, tilaajan tietomallikoordinaattori, valvoja ja konepajasuunnittelija. Tietomalliin liittyviä asioita ja esiin tulleita ongelmia käydään läpi niin tietomallipalaverissa kuin myös työmaakokouksissa. (A. Kopra, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015; Henkilökohtainen tiedonanto.)

Seuraavissa alaluvuissa keskitytään tarkemmin tietomallintamisen ja hankkeen laadunvalvonnan yhdistämiseen.

### 3.2.1 Tietomallin laadunvarmistus

Suunnitteluvaiheen laadunvalvonnalla tarkoitetaan tietomallintamisen osalta lähinnä sitä, että asia on esitetty tietomallissa oikealla tavalla ja se on vaaditun standardin mukaisessa muodossa. Lähtökohtaisesti infrahankkeen tietomalleja voidaan tarkastella kolmesta eri näkökulmasta tietomallin oikeellisuuden kanalta: tekninen mallisisältö, inframallin tietosisältö ja inframallin laadun arviointi. Laadunarvioinnissa huomio kiinnittyy toimivaan kokonaisratkaisuun. Tällöin tietomallista etsitään komponenttien mahdollisia törmäyskohtia. Tietomallien laadunvarmistuksessa ei siis ole tarkoituksena ensisijaisesti keskittyä ohjelmiston tuottaman tiedoston muodostamiseen, vaan tuotetun aineiston sisältöön ja laatuun. (Mäkinen 2014, 4–6.)

Suunnittelu- ja rakentamisprosessin aikana on ensisijaisen tärkeää, että tietomallien päivitys ja muutosten tekeminen on koko ajan hallittua. Toiminnan on koko hankkeen ajan pohjauduttava ajantasaiseen tietoon ja jokaisen aineiston tuottajan on tiedotettava kaikkia projektin osapuolia tekemistään muutoksista. Jokaisella henkilöllä on velvollisuus tarkistaa aina omat tietomallinsa niihin tehtyjen muutosten osalta ennen mallin lähettämistä eteenpäin muille ryhmän jäsenille. Liikenneviraston julkaisemassa Siltojen tietomalliohjeessa on määritelty vaadittava tietosisältö eri mallien osalta sekä kerrottu, millaisessa muodossa tieto tulee olla esitettynä. Tiedon esittämisen tarkkuuden ja tietosisällön suhteen hankekohtaisesti voidaan esittää tarkentavia vaatimuksia. Näitä Liikenneviraston tietomalliohjeita tukee tietomallintamiseen tuotetut luonnosvaiheessa olevat InfraBIM-mallinnusohjeet. (Mäkinen 2014, 6–9; Siidorow ym. 2014, 31, 38.)

### 3.2.2 Laatudokumentointi tietomalliin

Urakoitsijalle määritellään sopimusvaiheessa hankekohtaiset vaatimukset mallinnuksen suhteen. Tällä tavoin toteutustavat sekä tavoitteet ovat selkeämmin urakoitsijan ja tilaajan tiedossa, mikä selkeyttää mallinnuksen hallintaa. Pilottikohteissa urakoitsijan on esimerkillisellä mallityöskentelyllään mahdollista saavuttaa

tietyntylaisin ehdoin rahallisia bonuksia vaatimusten tyyttyess. Toisaalta vaatimustasoa yllpidet. my. asetetuilla minimivaatimuksilla. (Henkil. kohtainen tiedonanto.) Yleens. pilottikohteisiin valikoituu mallinnukseen perehtynyt ja asiasta kiinnostunut urakoitsija.

Opinn. tetyty. ss. k. tetytyn pilottihankkeen mallinnusvaatimukset on laadittu hankkeen urakka-asiakirjoissa. Kalasatamaan rakennettavan Isois. nsillan rakennushankkeeseen urakoitsijalle on laatudokumentoinnin toteutusta varten asetettu urakkakohtaiset minimivaatimukset. Minimitason laatudokumentoinnin vaatimuksissa edellytet. n. kaikkien hankkeen urakka-asiakirjoissa vaadittujen siltaa koskevien laatusuunnitelmien, -dokumenttien ja -raporttien linkitt. mist. tietomalliin edellytt. n. muun muassa, ett. kaikkii laatusuunnitelmiin ja laadun toteumara-portteihin tulee l. yty. tietomallista suora linkki. Linkkien tulee olla loogisesti ja selke. sti laadittuna sek. kaikkien tietomallia k. s. ittelevien osapuolten k. ytett. viss. T. m. tarkoittaa esimerkiksi sit. ett. avattu linkki johtaa dokumenttiin, joka on projektipankissa. Yhten. valvojan teht. v. st. on seurata hankkeen laatudokumentointia koko projektin ajan. (Henkil. kohtainen tiedonanto.)

### 3.2.3 Toteumamalli laadunvalvonnassa

Toteumamallin hy. dynt. misen mahdollisuudet ovat kiistattomat ja n. ht. v. iss. jo toteutetuissa pilottikohteissa. My. h. mp. t. tarkastelua varten tarkemman hy. dynt. misen tavat ja menetelm. t. ovat viel. osittain ep. selvi. Sen hy. dyllisyys tulee kuitenkin esille siihen tallennetun monipuolisen ja laajan tietosis. ll. n. my. t. Dokumentointi paperiversioina saattaa aiheuttaa monien tietojen h. vi. m. isen jo rakennushankkeen alussa. My. s. projektipankkeihin tallennetut tiedostot saattavat olla ep. selv. sti ja hankalasti rakennettu, jolloin oikean tiedon l. ytt. minen on ty. l. st. Ajantasaisen mallin avulla varmistetaan laatu- sek. muiden dokumenttien s. ylyminen ja selkeytet. n. niiden j. rjestyksen hallintaa. (InfraFINBIM -tiedotuslehti 2015, 5–7, 17–20.)

## **Crusselin silta mallintamisen esimerkkinä**

Helsingin rakennusvirasto on kokeillut tietomalleja vuodesta 2008 lähtien. Ensimmäinen hanke oli Crussellin sillan rakentaminen Helsinkiin Salmisaaren ja Jätkäsaaren välillä vuonna 2010, joka toimii hyvänä esimerkkinä tietomallin hyödyntämisestä sillanrakennuskohteessa. Urakka toimi yhtenä Suomen merkittävimmistä tietomallintamisen pilotointikohteista sillanrakennuksessa. Tietomallia käytettiin jo tarjousvaiheessa, ja myös rakentamisen aikaiset teräs- ja betonirakenteiden piirustukset tuotettiin suoraan 3D-mallista. Rakentamistapa oli hyvin uudenvuotuisen jolla mallintamistyötä jo tehneille, sillä hankkeessa kokeiltiin monia uusia tekniikoita ja ratkaisuja. Pilotointi oli kuitenkin erittäin onnistunut, ja mallinnuksen avulla saatiin selviä hyötyjä esille. Esimerkkinä tästä on suunnitelmien virheettömyys rakentamisen aikana sekä laadun ja mitoituksen täsmällisyys. Mallin jakaminen mahdollisti hankkeen sisällä työskennelleiden ihmisten välillä paremman tiedonkulun ja tehokkaamman yhteistyön. Tästä johtuen urakoitsijan oli helppo huomata mallista suunnittelijan tekemät tulevat muutokset ja valmistautua niihin. (Eastman ym. 2011, 494–513; Tekniikka & Talous. Sillan suunnittelu tietomallin avulla säästää kymmeniä tuhansia euroja.)

## 4 ISOISÄNSILTA

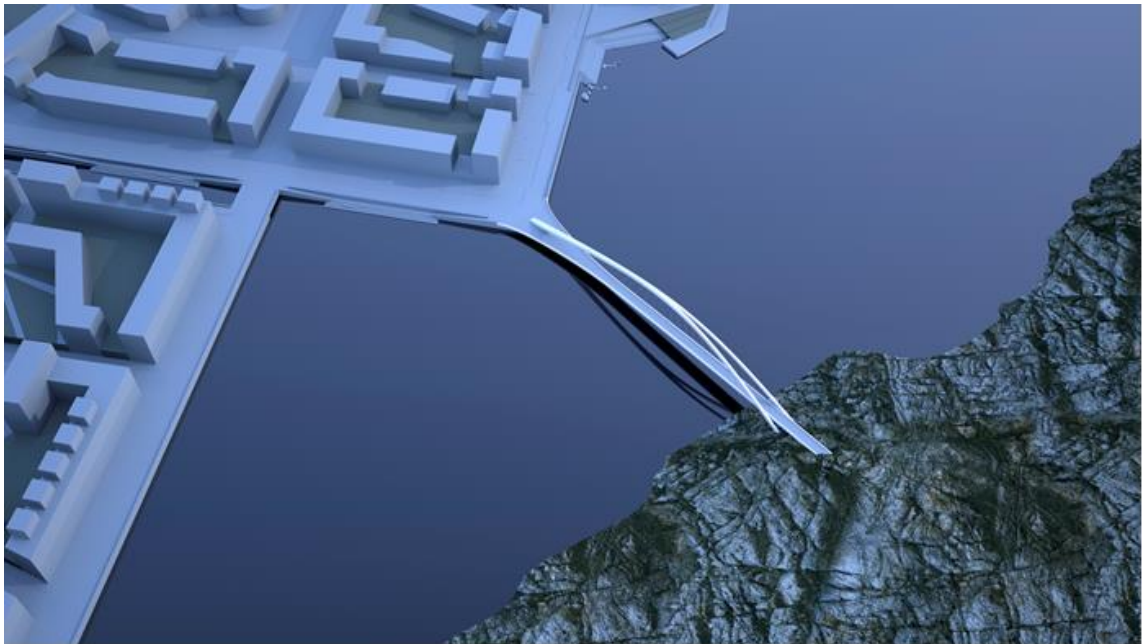
### 4.1 Hankkeen kuvaus

Helsingissä, Mustikkamaan ja Sompasaaren väliin on rakenteilla Isoisänsilta. Kevyelle liikenteelle rakennettavasta Isoisänsillasta tulee ortotrooppikantinen teräskaarisilta, joka valmiina mahdollistaa jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden liikkumisen vaivattomasti Kalasataman ja Sompasaaren välillä (kuvat 5, 6 ja 7). (Henkilökohmainen tiedonanto.)

Sillan suunniteltu kokonaispituus on 174,1/177,7 metriä pohjois- ja eteläpuolella ja sen leveys on yli neljä metriä riippuen sillan kohdasta. Jännemitat Isoisänsillalla ovat 6,7 m + 144,3 m + 13,6 m. Sillan alta kulkee veneväylä, jolloin alikulkukorkeus on 10 metrin väylävarauksen kohdalla vähintään 7 metriä. (Henkilökohmainen tiedonanto.)

Isoisänsillan rakennuttamisen lisäksi kokonaisurakkaan kuuluu noin 150 metrin pituinen asfalttipäällysteinen Mustikkamaanraitti Isoisänsillalta Korkeasaareen sekä kunnallisteknisiä töitä Capellan puistotiellä parrulaiturin ja Arcturuksenkadun välille (noin 120 metriä) ja Parrulaiturilla Capellan puistotieltä Junonkadulle (noin 170 metriä). Hanke käsittää rakennusurakan rakentamisen tarjouspyyntöasiakirjojen mukaisesti kaikkine töineen, liikennejärjestelyineen, varusteineen ja laitteineen sekä muine hankintoineen täysin valmiiksi. Tämän lisäksi uusien rakenteiden tulee olla liitetty viimeistellysti ja saumattomasti muuhun ympäristöön. Rakennusprojekti toteutetaan yksikköhintaisena kokonaisurakkana. (Henkilökohmainen tiedonanto.)

Tämän rakennushankkeen tilaajana toimii Helsingin kaupunki, joka on nimennyt hankkeen rakennuttajakonsultiksi A-Insinöörit Rakennuttaminen Oy:n. Pääura-koitsijana projektissa toimii Insinööritoimisto Seppo Rantala Oy, ja pääsuunnittelun toteuttaa Insinööritoimisto Pontek Oy. Konepajasuunnittelun tekee WSP, joka toimii myös urakoitsijan tietomalliasiantuntijana. Konepajana hankkeessa on Normek Oy Oulusta. (Henkilökohtainen tiedonanto.)

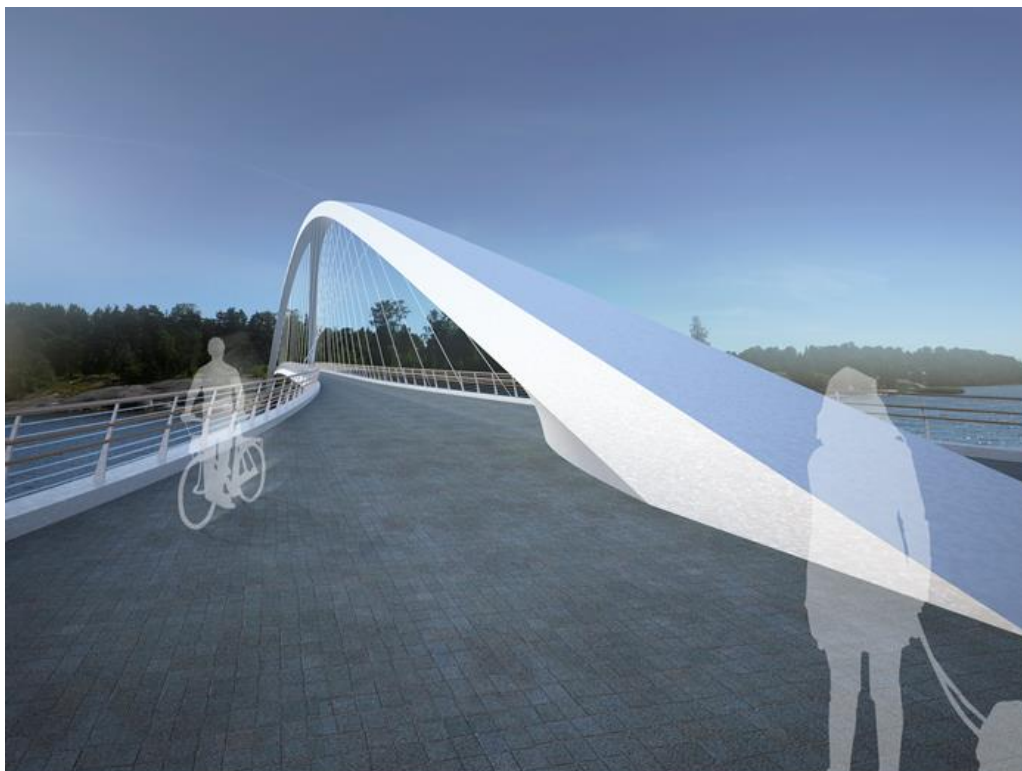


Kuva 5. Havainnollista kuva sillasta ilmaperspektiivistä (Pontek Oy).



Kuva 6. Sillan näkymä Capellan puistotien suunnasta (Pontek Oy).





Kuva 7. Havainnollistava kuva sillasta sen suuntaisesti (Pontek Oy).

#### 4.2 Isoisänsillan rakennuttaminen pilottikohteena

Pilottikohteena hanke toimii yhdessä muiden pilottihankkeiden kanssa tietomallipohjaisen rakentamisen kehityshankkeena, joiden tarkoituksena on auttaa jalostamaan infrarakentamisen alalle menetelmä, jolla hankkeiden kilpailuttaminen ja rakennuttaminen onnistuu ratkaisuilla, jotka perustuvat mallipohjaiseen tiedon siirtoon. Palautteiden ja kehitysehdotuksien myötä tullaan muokkaamaan ja täydentämään mallien ohjeita ja vaatimuksia. Tämän jälkeen infrarakentamisen tietomalliohjeet ja määräykset voidaan julkaista virallisina mallintamisohjeina tai ne voidaan sisällyttää osaksi laajempaa julkaisua. (Palviainen 2014, 4; Henkilökohtainen tiedonanto.)

Kalasatamassa rakentamishankkeen toteuttamisessa hyödynnetään tietomallivälineistä rakennustapaa suunnittelun alusta aina rakennushankkeen loppuun saattamiseen asti. Urakoitsija on tässä kokonaisuudessa sillan osalta velvollinen

sisällyttämään tietomalliin rakentamisen toteuman seurannan sekä tämän työmaan aikataulun. Urakan tietomallivaatimusten toteutumiseen on käytetty bonus- ja sanktiokäytäntöjä, joista kerrotaan tarkemmin opinnäytetyön luvussa 4.2.2. (Henkilökohtainen tiedonanto.)

Töiden aloitusajankohta oli 1.8.2014. Aikatauluun sisältyy tilaajan laatimat neljä eri välitavoitetta. Töiden tulee olla täysin valmiina ja vastaanotettuna sekä viranomaisten vaatimat tarkastukset tulee olla hyväksytysti pidettynä 30.8.2016 mennessä. Urakoitsija on lisäksi velvollinen laatimaan työmaan yleisaikataulun ja kolmen viikon sykleissä toteutettavan viikkoaikataulun. Aikataulun toteutumista ja tietomallintamista seurataan säännöllisesti pidettävien työmaakokousten lisäksi urakoitsijan sekä tilaajan omissa palavereissa ja kokouksissa. (Henkilökohtainen tiedonanto.)

Isoisänsilta valikoitui tietomallinnuksen pilottikohteeksi ajankohtansa lisäksi sillan teräsrakenteiden suunnitteluun luonnollisesti soveltuvan mallintamisohjelmiston myötä. Pilotointia edesauttoi myös hankkeen irtonaisuus ja linkittymättömyys kovinkaan selkeästi mihinkään muuhun urakkaan. Toisaalta pilotointi sopi hyvin Kalasataman uuden ja modernin asuinalueen tyyliin ja sanomaan. (V. Alajoki, henkilökohtainen tiedonanto 7.4.2015.) Isoisänsillan siltasuunnitelma perustuu siltakilpailuun, joka järjestettiin vuosina 2010–2011. Kilpailun tuloksena tuotettu silta oli omiaan pilotoinnin hyödyntämiseen. (V. Alajoki, henkilökohtainen tiedonanto 7.4.2015; Henkilökohtainen tiedonanto.)

Hankkeessa kaikki siltaa koskevat suunnitelmat on laadittu TeklaStructuresin avulla mallipohjaisesti. Suunnittelijat käyttävät TeklaStructuresin versiota 18.0 ja työmaalla on käytössä samaisen ohjelmiston versio 20.0. (Henkilökohtainen tiedonanto.)

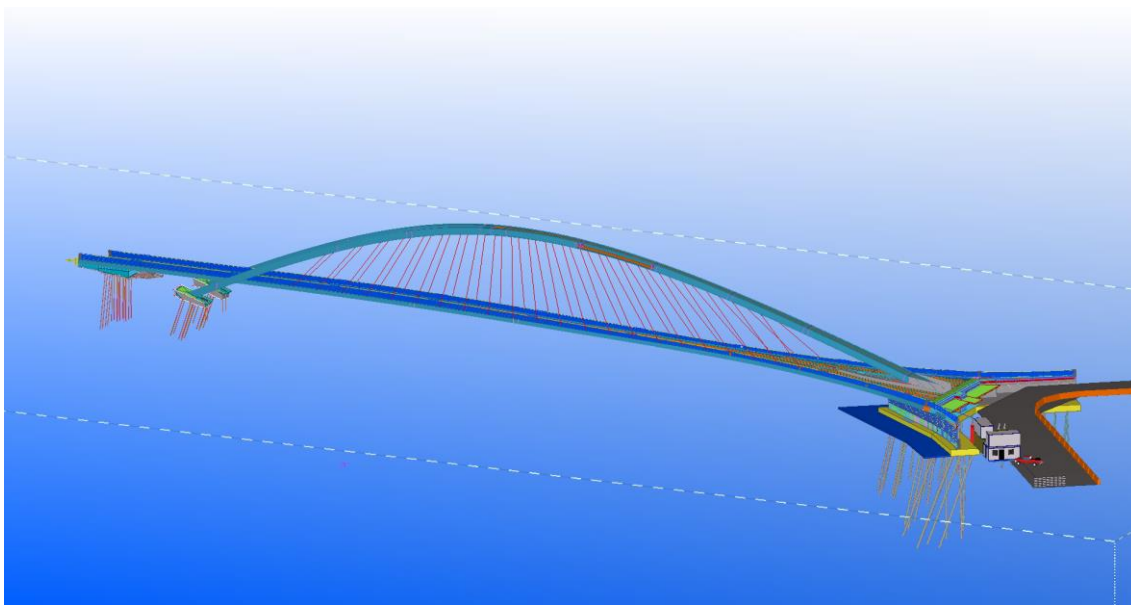
#### 4.2.1 Tietomallin hyödyntäminen Isoisänsillan rakentamisessa

Isoisänsillan rakentamishankkeessa urakoitsija on aktiivisesti päivittänyt ja pitänyt tietomallin ajantasaisena sekä hyödyntänyt tätä rakentamisen aikana. Raken-

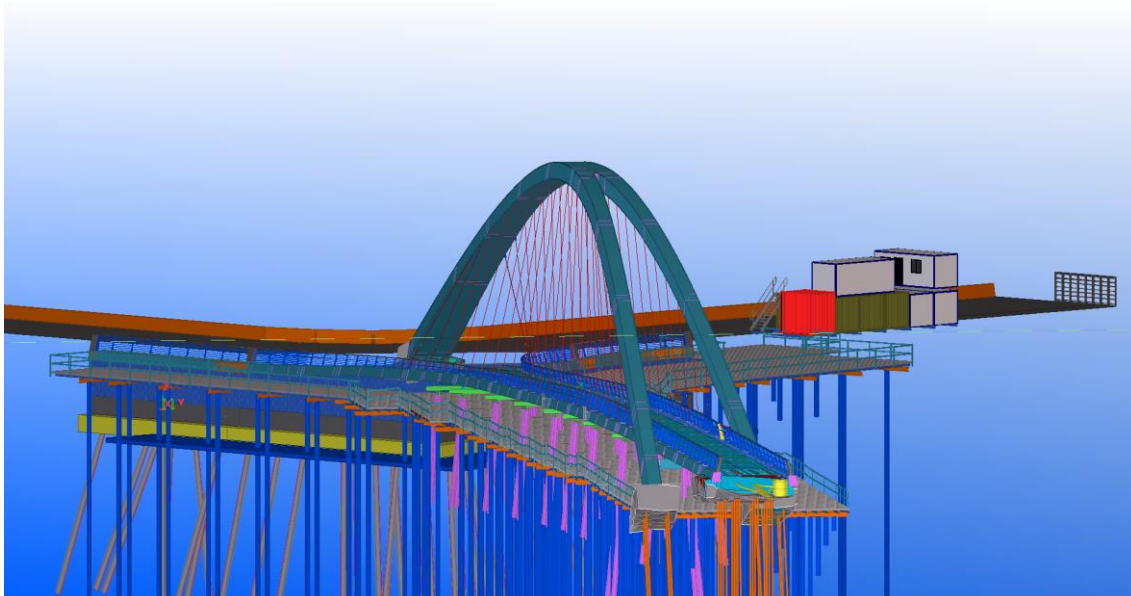
tamisessa tietomallin avulla on haivattu saavan konkreettisia hyötyjä työmaan organisoinnin, aikataulutuksen ja rakentamisen laadun suhteen. (A. Kopra, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.)

Urakoitsija on käyttänyt mallia perehdyttäessään työntekijänsä työmaahan ennen rakentamisen aloitusta ja jatkuvasti sen aikana. Mallin käyttö tässä havaittiin hyödylliseksi, sillä se helpottaa työmaahan tutustumista ja kokonaiskuvan hahmottamista (kuvat 8 ja 9). Sitä on hyödynnetty myös työmaakokouksissa havainnoimaan aikataulua ja sen tarkastelua sekä työmaan toteumia. (A. Kopra, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.)

Työmaan tilannetta on kätevää seurata reaaliaikaisesti tietomallista, sillä se havainnollistaa värien avulla rakentamisen tilanteen rakenneosittain. Lisäksi urakoitsija on kokenut mallin avulla rakenteiden hahmottamisen helpommaksi. Sen avulla rakenteiden yhteensovittaminen muuhun maastoon on ollut vaivattomampaa. Sen on koettu myös nopeuttavan rakenteiden mittatietojen saamista työmaalle, mikä on osaltaan edistänyt aikataulussa pysymistä. (A. Kopra, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.)



Kuva 8. Rakentamisen tilannetta on vaivatonta seurata yhdistelmämallista värien avulla (Seppo Rantala Oy).



Kuva 9. Isoisänsillan rakennuttamisessa yhdistelmämallia on hyödynnetty myös perehdytyksessä (Seppo Rantala Oy).

Isoisänsillan mallintaminen on onnistunut odotetusti, eikä se ole aiheuttanut ajallisia viivytyksiä rakentamisen edistymiselle. Urakoitsija on kokenut etenkin yhdistelmämallin monella tapaa hyväksi ja tehokkaaksi rakentamisen apuvälineeksi. Sen avulla esimerkiksi raudoituspiirustusten saaminen työmaalle on ollut helppoa ja vaivatonta. Tiedonkulku on nopeutunut, sekä sähköpostien ja soittojen tarve on vähentynyt. Työmaalla työmaainsinööri on voinut halutessaan tulostaa mallista halutut kuvat paperillisiksi. (M. Järvenpää, henkilökohtainen tiedonanto 31.1.2015; A. Kopra, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.)

Mahdollisia riskejä mallinnuksessa voi kuitenkin aiheutua sen käytön kokemattomuudesta ja erinäisistä tulkintavirheistä sekä syötetyn tiedon oikeellisuudesta. Yhtenä riskinä on siihen syötetyn tiedon vääryys, joka voi aiheutua esimerkiksi tiedon puutteesta tai huolimattomuudesta. Määrät ja rakennusosien nimet saatavat myös mennä väärin, mikä johtaa ristiriitoihin mallin ja paperisuunnitelmien välillä. Tästä johtuen mallin huolellinen tarkastaminen jokaisen osapuolen välillä on erityisen tärkeää. Lisäksi sen päivityksessä ja käytössä on oltava huolellinen, jotta mallia ei vahingossa muuteta tai vastaavasti käytetä vanhentunutta versiota työmaalla rakentamisen apuna.

Jotta tietomallista saataisiin mahdollisimman paljon hyötyä irti, on mallin käytössä erityisen tärkeää, että urakoitsija on perehdyttänyt ja kouluttanut työntekijänsä tietomallin käyttöön ja hyödyntämiseen. Tällöin varmistetaan, ettei työmaalla aiheudu vahinkoja tai taloudellisia ja aikataulullisesti merkittäviä menetyksiä tiedon ja osaamisen puutteellisuudesta johtuen.

#### 4.2.2 Urakan tietomallivaatimusten bonus- ja sanktiokäytännöt

Tietomallin käyttöä ja hyödyntämistä varten Isoisänsillan rakennushankkeen alussa on laadittu tietomallivaatimukset, jotka sisältävät kiinteitä bonus- ja sanktiokäytäntöjä. Bonuksien ja sanktioiden saaminen riippuu urakoitsijan tietomallityöskentelystä ja toteutuneen mallin sisällöstä. Vaatimukset ovat jaettu tehtäväkokonaisuuksittain seuraavasti: aikataulu, perehdyttäminen ja työnohjaus, telinesuunnitelmat, laatudokumentointi ja toteumamalli. Näihin jokaiseen tehtäväkokonaisuuteen on erikseen määritetty minimivaatimukset, joiden mukaan urakoitsijan on toimittava. (Henkilökohtainen tiedonanto.)

Urakoitsijan on suoritettava tietomallivaatimuksissa kuvatut tehtävät vähintään tilaajan asettamien minimivaatimusten mukaisesti, muutoin tilaajalla on oikeus määrätä urakoitsijalle rahallinen sanktio. Urakoitsijan on mahdollista saada rahallinen tai rahallisia bonuksia täytettyään työkohtaisesti vaaditun tason tietomallivaatimuksissa esitettyjen kohtien mukaisesti. Bonuksen saamiseksi tulee urakoitsijan toimia vaatimusten edellyttämällä tavalla koko projektin ajan, jonka lisäksi heidän tulee toimittaa tilaajalle raportti ennen loppukatselmusta. Raportista tulee käydä ilmi tehtävien toteutustapa sekä mahdolliset kehitysehdotukset ja tehtävän hyödyllisyys työmaan näkökulmasta. Tietomallikoordinaattorin ja tilaajan valvojan toimesta suoritetaan pistokokeita eri osioiden toteutumisesta ja seurataan urakoitsijan tietomallin käyttöä. Pistokokeiden tekemisen ajankohta on tilaajan päättävissä. (Henkilökohtainen tiedonanto.)

#### 4.2.3 Toteumamallin hyödyntäminen laadunvalvonnassa

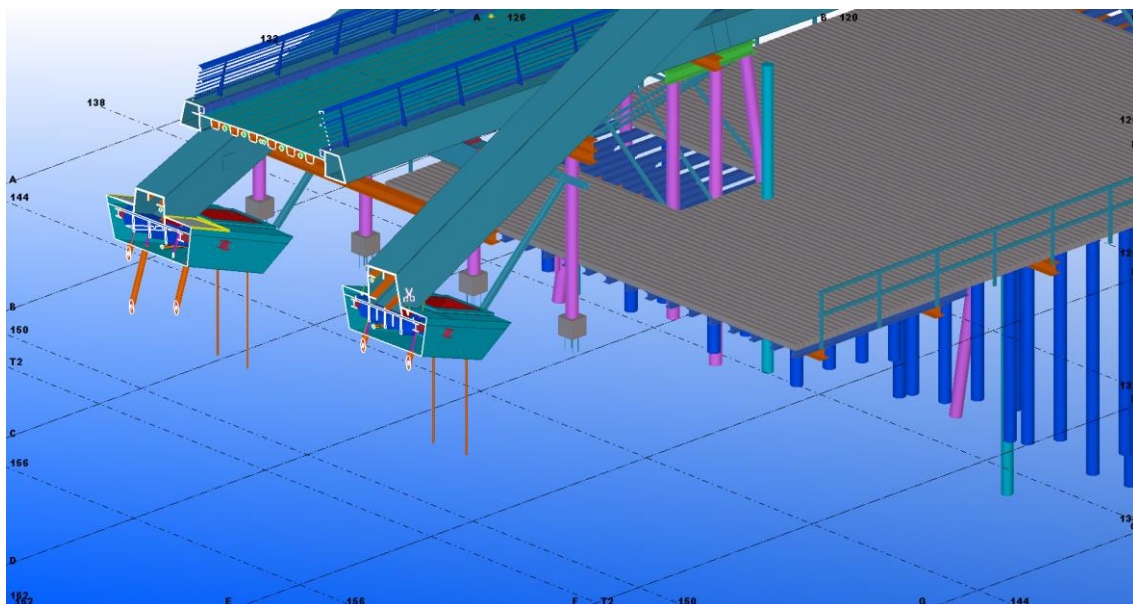
Tietomallivaatimuksissa on erikseen laadittu minimitaso myös toteumamallin laatuvaatimukseen (Henkilökohtainen tiedonanto). Minimitason mukaisesti urakoitsija on velvollinen mallintamaan siihen kaikki toteutuneet paalut, toteumamitatut mittapisteet ja rakennemuutokset, joita suunnittelija ei ole päivittänyt tietomalliin. Toteumamalli laaditaan Tekla Structures -ohjelmiston versiolla 20.0. Natiivimallin lisäksi mallista luovutetaan IFC-malli. Konepajamalli mallinnetaan Tekla Structures -ohjelmiston versiolla 18.0, josta tullaan myös luovuttamaan natiivimallin lisäksi IFC-malli. (Henkilökohtainen tiedonanto.)

Esimerkiksi paalujen toteumatietojen osalta tulee minimivaatimusten mukaisesti mallintaa toteutunut sijainti, paalun pituus ja asento. Tämän lisäksi tulee esittää paalun profiili ja materiaali. Väliaikaisten paalujen osalta mallinnetaan pysyvästi jäävät osat paaluista. Mitattujen kappaleiden koordinaatit tulee sijaita tarkemittauspisteessä. Kappaleilla on lisäksi oltava nimi, olomuoto ja kategorioitu luokansa, mutta vaatimuksia ei ole esitetty paino-ominaisuuksien osalta. (Henkilökohtainen tiedonanto). Toisistaan poikkeavien tietomalliversioiden Tekla Structures 20.0 ja Tekla Structures 18.0 käyttö on aiheuttanut pieniä ongelmia tiedon siirron ja muokkauksen myötä. Hankkeessa suunnittelija käytti suunnitelmien tekemiseen versiota 18.0. Tämän jälkeen ohjelmiston kehittymisen tuloksena tuotettiin versio 20.0, jossa on enemmän työmaata palvelevia ominaisuuksia. Tämä on syy, miksi hankkeessa toteutusmallin versio eroaa suunnittelumallista. Kyseiset ongelmat eivät ole kuitenkaan olleet mittavia, mutta jatkon kannalta yhden version hyödyntäminen on varmempi tapa.

Tietomallin hyödyntäminen on ollut apuna tarkkeiden ja muiden mittatietojen saamisessa ja dokumentoinnissa. Urakoitsijan työmaainsinööri ja mittamies ovat tehneet jatkuvaa yhteistyötä, minkä tuloksena tietojen siirto malliin ja niiden tarkastelu mallissa on ollut vaivatonta. Tällä hetkellä kaikki tarkkeet Isoisänsillalla otetaan vielä miestyövoimin. Niiden lähettäminen sähköisesti suoraan toteumamallia hallinnoivalle työmaainsinöörille on pilotoinnissa koettu käteväksi. Tällöin toteuman reaaliaikainen tarkastelu onnistuu lisäksi paremmin, sillä pisteet nähdään

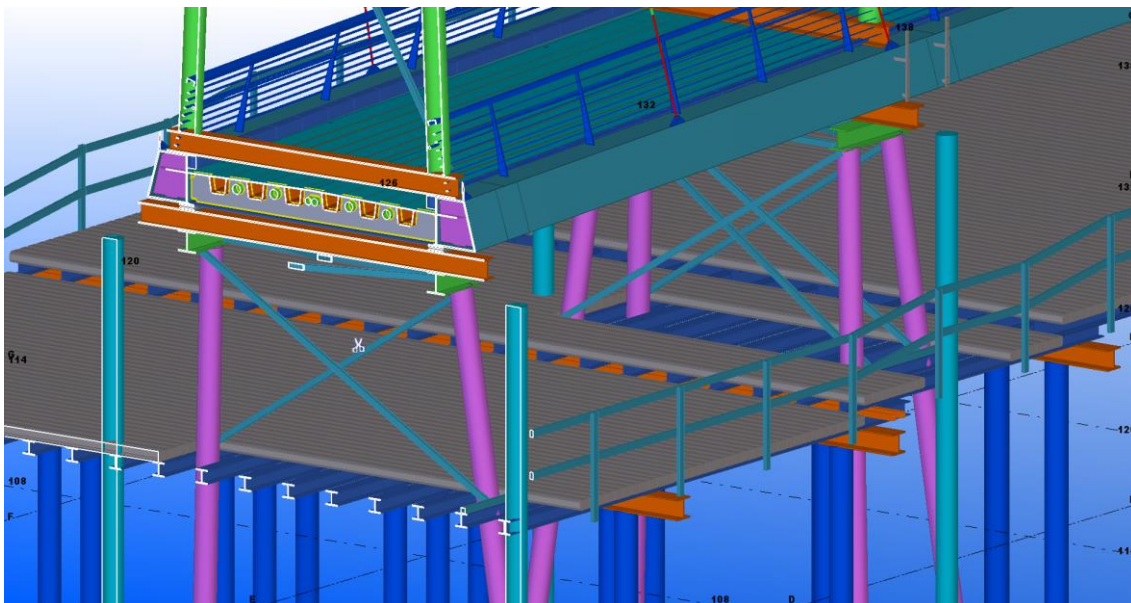
saman tien ja niitä voidaan verrata suunniteltuihin. Työmaalta saadun toteumatietojen, esimerkiksi tarkemittausten tulosten perkaus ja tietojen siirto malliin on kuitenkin vielä koettu työlääksi ja aikaa vieväksi. (A. Kopra, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.)

Tulevaisuudessa uuden rakentamistavan kehittyessä mittamiesten tarve saattaa vähentyä automaation kautta. Urakoitsija kuitenkin uskoo, että mittamiehiä tullaan edelleen tarvitsemaan kentällä, sillä kaikkia heidän työtehtäviään ei ole mahdollista korvata koneautomaatiolla. (A. Kopra, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.)



Kuva 10. Maatukien poikkileikkauskuva mallinnettuna (Seppo Rantala Oy).





Kuva 11. Poikkileikkauskuva siltakannen rakenteesta ylläpitomallissa (Seppo Rantala Oy).

Toteumamallin hyödyntämistä pidetään hyvänä asiana, ja sen kehityksen suhteen ollaan luottavaisia. Automatisoitumisen myötä täsmällisemmän mallin laatiminen mahdollistuu, sillä uudistuneiden työmenetelmien avulla tuotetut tarkkeet tulevat olemaan tarkempia kuin ihmisen mitaamat mittapisteet. (S. Oksama, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.) Sen laadinnassa ja tarkastelussa tulee kuitenkin muistaa kriittisyys, eikä oikeellisuuteen saa luottaa sokeasti. Vaikka malli näyttäisi päällisin puolin oikealta, sen tietosisältö saattaa olla virheellinen. Esimerkkinä massatiedot, jotka saattavat huomaamatta muuttua virheellisen päivityksen tai käytön johdosta. (J. Savolainen, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.) Virheiden havainnoinnin ja tarkastamisen apuna on käytössä eri rakennusosissa hyödynnettäviä tarkastustyökaluja, mutta näiden toiminnassa on vielä kehitettävää (S. Oksama, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015).

#### 4.2.4 Tietomallintamisen haasteet

Tietomallipohjaisen rakentamisen kanssa ollaan vielä kehityksen murrosvaiheessa, jossa uudistuneen rakennustavan omaksumisen lomassa ei tule unohtaa tärkeintä asiaa – mahdollisimman hyvän lopputuloksen saavuttamista.



Mallintamisessa ja sen käytössä on tullut esiin pilottihankkeen rakentamisen aikana monia haasteita ja kehitysehdotuksia. Isoisänsillan rakentamishankkeessa on erilaisten yksityiskohtaisten detaljien mallintaminen koettu toistaiseksi työlääksi. Lisäksi kahteen suuntaan kaarevien pintojen on huomattu olevan haasteellisia mallintaa. Toisinaan on koettu, että mallintaminen työmaalla on välillä rasite, sillä paperikuvien tulostus on suoraan riippuvainen mallin ajantasaisuudesta (A. Kopra, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015). Pilottihankkeen myötä vasta kokeiluasteella olevan mallintamisen takia osa suunnitelmista on jo sopimusvaiheessa päätetty jättää tarkoituksella mallintamatta. Näitä ovat esimerkiksi erilaiset liitokset ja levyt. (P. Hassinen, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.)

Kokemattomuus mallin hyödyntämisessä ja käytössä on aiheuttanut osaksi työskentelyn haparointia ja vaikeuttanut tiedonkulkua. Tiedonkulun ja osaamisen parantamiseksi on tärkeää, että mallintaminen tarjoaa jokaiselle käyttäjälle tarpeitaan vastaavan käyttöjärjestelmän. (S. Oksama, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.) Ohjelman avaaminen ja käyttö tulee tehdä mahdollisimman helpoksi. Tästä syystä päivitysten, lisenssien saatavuuden, mallin jakamisen ja sen yhteensovituksen kanssa onkin vielä kehitettävää. Mallin jalostaminen ja käyttöönotto osaksi piirustusten tarkastusta nähdään tärkeäksi, sillä täten varmistettaisiin tarkoituksenmukaisten kuvien lähtö eteenpäin. Isoisänsillassa näin ei ole vielä toimittu, mutta tätä pidetään yhtenä kehitysasiana. (J. Kivi, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.)

Toistaiseksi paperikuvien saatavuus ja niiden käyttö nähdään helpommaksi ja nopeammaksi tarkasteltaessa suunnitelmia (M. Järvenpää, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015). Malli koetaan Isoisänsillan rakennushankkeessa vielä piirustusten apuvälineeksi (J. Savolainen, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015). Kehityksen kasvaessa piirustusten painoarvon nähdään laskevan, jolloin ne tulevat mahdollisesti toimimaan pelkästään muistiinpanoina tietystä rakenteesta (A. Kopra, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015).

Murrosvaihe on työllistänyt urakoitsijaa aikaisempaa enemmän ja vaatinut myös suunnittelijalta uudenlaista tarkkuutta. Yhtenä ongelmana työmenetelmissä on noussut esiin mallinnukseen liittyvien dokumenttien suuri määrä. Suunnittelijan ja

urakoitsijan on seurattava samanaikaisesti monia dokumentteja irrallaan, joka on työlästä ja aikaa vievää. Yhtenä ratkaisuna tähän olisi malliin linkitettävien dokumenttien yleistyminen ja niiden looginen järjestäytyminen. Esimerkiksi hankkeen tietomalliselostus voitaisiin jakaa lohkoihin ja täten linkittää haluttuun rakenneosaan, jolloin oleelliset tiedot olisivat nähtävillä vaivattomammin. Tämä vaikuttaisi myös virheen mahdollisuuden pienentymiseen. (P. Hassinen, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.)

Urakoitsija näkee kuvien piirtämisen siirryttäessä itselleen sekä positiivisena että epäedullisena asiana. Tällä hetkellä urakoitsijan kuvat ovat pilvipalvelussa, mutta niitä ei ole tarkistamassa kukaan ulkopuolinen, mikä nostaa virheiden huomauttamatta jäämisen riskiä. Kuvien sijaitseminen pilvipalvelussa mahdollistaa kuitenkin kuvien tarkastuksen ulkopuoliselta taholta. Toisaalta urakoitsijan työ nopeutuu välivaiheiden pois jäämisen myötä. Piirtäminen on luonnollisesti lisännyt urakoitsijan työtä, jolloin työmaalla olisi ehkä suotavaa resursoida lisää henkilöstöä. Vaihtoehtona nähdään piirustusten tarkkuuden muuttaminen työmaalla, jolloin suunnittelija näyttää urakoitsijalle loppurakenteen vaatimuksineen ja urakoitsija toteuttaa piirustukset haluamallaan tarkkuudella. Tämä tarkoittaisi sitä, ettei urakoitsijan tarvitsisi laatia suunnitelmiaan niin pitkälle. (A. Kopra, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.)

Yksinkertaisempien kuvien tuottaminen työmaalla saatetaan nähdä myös selkeyttävänä asiana. Kehittämistyön yhtenä tarkoituksena on ottaa työmaalle tabletit jokapäiväiseksi työvälineeksi. Tällöin myös työmiesten on osattava tulkita mallia, jolloin kuvien riittävä tarkkuus on työvaiheen tarpeesta riippuvainen. (A. Kopra, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.)

Mallintaminen ja sen työvälineet kehittyvät paremmiksi ja tämä on nähtävissä myös Isoisänsillan rakentamisessa. Osa asioista tehtäisiin jo eri tavalla, jos hanke aloitettaisiin vasta tänä vuonna. (P. Hassinen, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.)

Tietomallin ja rakentamisen välinen yhteys ja niiden parempi yhteenkuuluvuus koetaan vielä haasteeksi ja kehitysasiaksi. Kehitystapoja on monia, joiden avainasiana on kuitenkin työmenetelmien muuttaminen ja mallin käytön arkipäiväistäminen. (A. Kopra, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015; S. Oksama, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.) Työtapojen muuttumisen rinnalla on opeteltava nyt myös uusien teknisten asioiden käyttö. Todennäköistä on myös se, että tulevaisuudessa malliin tullaan linkittämään enemmän tietoa ja osaaminen sen ympärillä kehittyä. (P. Hassinen, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015.) Kehitys vaatii käyttäjiltä aktiivisuutta ja mallin käytön arkipäiväistymistä (S. Oksama, henkilökohtainen tiedonanto 31.3.2015).

## 5 KEHITYSEHDOTUKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tietomallintamisen avulla rakentaminen on koettu hyödylliseksi, ja siitä on saatu konkreettista apua pilottihankkeissa projektien aikana. Sen on koettu osaltaan edistävän hankkeen organisointia työmaalla, aikataulun ja resurssien hallintaa, tiedonkulkua ja kustannusten hallintaa sekä parantavan riskien ja virheiden ennaltaehkäisyä.

Vaikka mallinnus on yleisesti ottaen koettu positiiviseksi, siinä on ilmennyt erinäisiä haasteita. Niitä on tuonut esimerkiksi käytön kokemattomuus, mikä on vaikuttanut pilottikohteissa mallintamisen haparointiin. Lisäksi yksityiskohtaisten detallojen mallinnus on vielä työlästä ja aikaa vievää. Mallinnus on myös lisännyt huomioitavien dokumenttien määrää piirustuksia tehdessä, mikä on hidastanut suunnitelmien laadintaa. Tätä pystytään edesauttamaan lisäämällä malliin syötetyn tiedon määrää ja organisoimalla dokumentit siihen oikealla tavalla. Tiedon linkittämisessä malliin täytyy huomioida linkittämistavat, jotta tarvittavat oleelliset tiedot löytyvät nopeasti ja vaivattomasti. Dokumenttien, esimerkiksi tietomalliselostuksen, linkittäminen lohkoissa malliin mahdollistaisi juuri tietyn datan saamisen. Tällöin suunnittelijan ei tarvitse avata ja etsiä eri paikoista milloinkin tarvitsemiaan tietoja, vaan kaikki oleellinen tietyn rakennusosan suhteen olisi löydettävissä samasta paikasta. Tämä vähentäisi myös virheen mahdollisuutta ja parantaisi suunnitelmien laatua.

Mallintaminen kehittyessään nopeuttaa ja helpottaa tiedonkulkua, mutta mallin käytön osaamattomuus ja käyttöjärjestelmälliset ongelmat ovat vielä joiltain osin vaikeuttaneet sen sujuvuutta. Joissain tilanteissa mallia on pystytty jo hyödyntämään selkeästi niin, että se nopeuttanut rakentamisen välivaiheita. Kun suunnittelija ja urakoitsija ovat käyttäneet mallia tiiviisti yhteistyövälineenä, on se mahdollistanut esimerkiksi suunnitelmien nopean toimituksen työmaalle säästäten aikaa. Lisäksi toteumatietojen päivitys ja reaaliaikainen seuranta on pystytty toteuttamaan aikaisempaa paremmin.

Tiedonkulun nopeuttaminen vaatii kuitenkin käyttäjiltä aktiivisuutta ja mallin ottamista osaksi arkipäivää. Tällä hetkellä mallin käytön kokemattomuus hankkeen eri osapuolilla aiheuttaa vielä sen, ettei sitä osata käyttää ja hyödyntää tarpeeksi. Ongelmaksi on koettu mallintamisen ja mallien ymmärtäminen ja tulkinta, sillä tietomallintamisen ja infrarakentamisen asiantuntemus eivät ole vielä täysin kohdanneet. Tällöin tiedon hallinnointi mallissa, sen päivitys ja käsittely ovat jääneet vain niille henkilöille, joilla siihen on osaamista eikä mallin antamia kaikkia mahdollisuuksia ole voitu hyödyntää. Mallin käytön osaamisen ja tiedonkulun lisäämiseksi tulisi ohjelmiston ja niiden toimittajien tehdä mallin hyödyntämisestä mahdollisimman helppoa ja pystyä tarjoamaan osapuolille tarpeitaan vastaava mallintamisen työkalu. Lisäksi mallien lisenssien, päivitysten, jakamisen ja yhteensovituksen toimivuuden tulisi olla tulevaisuudessa yksinkertaisempaa ja varmempaa.

Mallintamisen keskeisimmät ja suurimmat hyödyt tulevat mitä luultavimmin kustannussäästöjen kautta. Tilaaajalle tulee jo tarjouslaskennassa mahdolliseksi tehdä tarjoukset mallin avulla edullisemmin, sillä sen avulla määrälaskenta nopeutuu. Tämä taas osaltaan johtaa urakoitsijan määräriskien pienentämiseen. Määrälaskennan luotettavuuden ja nopeuden parantuessa kustannussäästöjä tapahtuu myös massansiirtojen hallinnan ja loppuselvityksien osalta. Ongelmana on vielä, että osa määrätiedoista on jouduttu johtamaan muualta, jolloin tarkkuus kärsii ja aikaa kuluu. Myöskään mallien oikeanmukaisuuteen ei tule luottaa sokeasti, ja kriittinen tarkastelu on tarpeen koko hankkeen aikana. Tulevaisuudessa mallien tulee olla lisäksi samanvertaisia, jolloin niiden yhdistely ja hyödyntäminen olisi varmempaa.

Kustannussäästöihin vaikuttaa myös riskien ja virheiden ennaltaehkäisy, sillä mallin avulla rakenteiden ja kokonaiskuvan hahmottaminen helpottuu ja ongelmat tulevat ilmi heti mallissa, eivätkä vasta työmaalla. Työpanos tulee tällöin siirtymään aikaisempaan vaiheeseen ja hankkeen osapuolten yhteydenpito tulee olemaan tiiviimpää, mikä osaltaan vähentää väärinymmärryksiä.

Aikataulussa pysyminen on hankkeen onnistumisen kannalta erittäin tärkeää, sillä aikataulu on suoraan sidoksissa työmaan kustannuksiin ja resursseihin. Tietomallin avulla aikataulua on helpompi hallinnoita, ja sen laatiminen täsmällisemmäksi mahdollistuu. Myös eri rakennusvaiheiden ja eri urakoitsijoiden töiden yhteensovitus yksikertaistuu. Kun tiedetään, mitä työvaiheita milloinkin tehdään, työmaalla ei varastoida tai seisoteta sinne tarpeettomia työkoneita ja välineitä turhaan. Työmaan organisointi paranee tarkemman aikataulutuksen myötä, mikä vaikuttaa myös työmaan tilanhallintaan ja järjestykseen ja tätä kautta turvallisuuden sekä viihtyvyyteen. Malliin syötetyn aikataulun avulla työmaan tilannetta on myös selkeämpi hahmottaa esimerkiksi työmaakokouksissa. Malli on koettu aikataulun lisäksi myös hyödylliseksi kokonaiskuvan hahmottamisessa sekä perehdytettäessä.

Tilanhallinnasta saatavia hyötyjä tulisi jatkossa jalostaa ja kehittää laadunhallinnallisesti eteenpäin. Mallit voisivat mahdollistaa sen, että niiden kautta päätöteuttajan olisi mahdollista saada kaikki työmaalle tarvittavat yksityiskohtaiset turvallisuussuunnitelmat, esimerkiksi työmaasuunnitelmat sekä suunnitelmat vaarallisten töiden ja työvaiheiden toteutuksesta. Turvallisuussuunnitelman sisällyttäminen mallintamiseen toisi lisäarvoa myös riskien arvioinnissa ja niiden hallinnassa. Pidempiaikaisissa hankkeissa liikennejärjestelyiden hallinnointi ja muutokset täydentäisivät toteumamallia ja parantaisivat työmaan turvallisuutta, sillä muutokset olisivat kirjattuina mallissa ajantasaisena tietona ja oikein.

Toteumamallin päivittämiseen työmaalla on koettu menevän ajallisesti resursseja, sillä se on toimintatapana uusi ja vaatii opettelua. Esimerkiksi tarkkeiden tietosisällön perkaus työmaalla mittamieheltä tietomalliin on koettu työlääksi ja aikaa vieväksi. Kuvien piirtäminen on mallinnuksen kautta siirtynyt urakoitsijalle, jolloin urakoitsijan työmäärä on tämän takia kasvanut. Toisaalta piirustusten tuottamisen tarve mallintamisen myötä vähenee. Niiden ei myöskään tarvitse olla jatkossa yhtä täsmällisiä täyttääkseen kuitenkin täysin rakentamisen edellyttämät tarpeet. Tulevaisuudessa tietomallilla tulee olemaan suuri rooli rakentamisessa. Mallin ajantasaisuus ja hallinnan tärkeys korostuvat entisestään, joten tulisi miettiä myös työmaan henkilöstöresursseja. Olisiko työmaalla urakoitsijan puolelta

tarpeen olla henkilö, joka hoitaisi tietomalliin liittyvät asiat, datan perkauksen ja mallin päivityksen. Tällöin se ei lisäisi ja kuormittaisi esimerkiksi urakoitsijan työmaainsinööriä, jolla on yleisestikin ottaen tärkeä rooli työmaan tehtävissä ja hankkeen onnistumisen kannalta. Kustannuksellisesti yhden ihmisen palkkaaminen kokopäiväiseksi ei ole niin suuri rahallinen menetys verrattuna tietomallin kokonaisvaltaisen käytön hyödyistä saataviin kustannussäästöihin ja rakentamisen sekä työmaan kehitysmahdollisuuksiin.

Uudistunut rakentamistapa mahdollistaa tulevaisuudessa henkilö- ja välineresurssien vähentämisen ja tehokkuuden lisäämisen vaikuttamatta yhden ihmisen töiden kuormittavuuteen. Tällöin urakoitsijan vaikutusmahdollisuudet töiden toteutukseen kasvavat, sillä esimerkiksi mittatarkkeiden saamisen apuna ei enää tarvita kovin suurta henkilötyövoimaa. Mallinnus mahdollistaa automaation kasvun rakentamisessa, jolloin tehdyn pinnan korkojen, massojen määrien, paalujen paikkakoordinaattien ja kaltevuustietojen saaminen siirtyy automaatiomittaukseksi koneisiin, esimerkiksi koneen kauhaan tai paalutuskoneeseen. Näistä tuotettu data siirtyy suoraan toteumamalliin. Konemittausta hyödyntäen tarkkeet saadaan tulevaisuudessa tarkemmin. Automaation avulla myös aikataulun päivitys olisi mahdollista suoraan koneohjauksen avulla, jolloin työkone tallentaisi työvaiheen alkamis- ja loppumispäivän sekä työntehokkuuden esimerkiksi paalutuksessa, ja näin ollen toteuma tulisi malliin ja sen aikatauluun täsmällisesti ja oikein.

Yhtenä tämän hetkisenä haasteena on lisäksi vielä mallinnuksen käytön ja vaatimustason täsmällisyys tarjouspyynnön mallinnusvaatimuksissa. Määrittäminen on ollut osittain epäselvää, sillä kokemus ja riittävän tiedon omaaminen ovat vielä kehitysvaiheessa. Pilottihankkeiden ja osittain niiden avulla tuotettujen Yleisten Inframallivaatimuksien julkaiseminen toukokuussa tulevat helpottamaan osaltaan jatkossa vaatimustason ja tarkkuuden määrittelyä hankekohtaisesti.

Mallipohjaisen rakentamisen tavoite on mahdollistaa toiminnan näkeminen laajana kokonaisuutena niin, että kehitetään koko hankinnan, suunnittelun, rakentamisen ja ylläpidon ketjua. Sitä kautta on mahdollista saada muuttuneiden toimintatapojen avulla sekä taloudellisia että ajallisia hyötyjä. Pilottikohteita hyödyntäen

tulisikin kiinnittää enemmän huomiota yksittäisten dokumenttien tallentamisen tai muuttamisen sijaan kokonaisvaltaiseen toimintatapojen kehittämiseen.



## LÄHTEET

Eastman, C; Teicholz, P; Sacks, R. & Liston, K. 2011. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. uudistettu painos. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Helsingin kaupungin rakennusvirasto, katu- ja puisto-osasto 2014. Suunnitteluohje. Taitorakenteiden tietomalliohje. Viitattu 14.3.2015 <http://www.hel.fi/www/hkr/fi/julkaisut/ohjeet-suunnittelijoille/ohjeet-suunnittelijoille>.

Image Builder Oy: Salmi, J; Salminen, K & Työryhmä: Laatonen, K; Mäkelä, H; Liukas, J. 2015. Infra FINBIM Tiedotuslehti 2015 web. Tietomallintaminen infra-alalla. RYM Oy, PRE-ohjelman Infra FINBIM – työpaketti & BuildingSMART Finland, Infra-toimialaryhmä. 2015. Helsinki: Libris Oy. Viitattu 8.3.2015 <http://www.infrabim.fi/infrabim-tiedotuslehti-viestii-inframallintamisen-kaytannoista-vaatimuksista-ja-visiosta/>

InfraBIM 2015. Lähtötiedot ovat inframallintamisen peruskivi. Viitattu 3.4.2015 <http://www.infrabim.fi/lahtotiedot-ovat-inframallintamisen-peruskivi/>.

Jaakkola, M. & Destia Oy. 2014. InfraBIM Mallinnusohjeet Osa 11.2 Tietomallin hyödyntäminen infran rakentamisessa., uudistettu painos.

Janne Luotola. Tekniikka & Talous. Sillan suunnittelu tietomallin avulla säästää kymmeniä tuhansia euroja. Viitattu 25.3.2015. <http://www.tekniikkatalous.fi/rakennus/sillan+suunnittelu+tietomallin+avulla+saastaa+kymmeniatuhansia+euroja/a1011146>.

Lehtonen, K.; Tattari, K.; Partanen, V.; Kärkkäinen, A.; Valkeisenmäki, A.; Lampimäki, T. & Immonen, J. Tiehallinto 2009. Urakoitsijan laaturaportointi. uudistettu painos. Helsinki: Edita Prima Oy. Tiehallinto.

Liikennevirasto 2014. Kuin kaksi marjaa (Tietomalli vs. tietomalli) Viitattu 10.3.2015 [http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat\\_suunnittelijat/tietomallit/kuin\\_kaksi\\_marjaa#.VQKYJE2KCM8](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/tietomallit/kuin_kaksi_marjaa#.VQKYJE2KCM8).

Liukas, J. & Kemppainen, L. Sito Oy. 2014. InfraBIM Mallinnusohjeet Osa 2.0 Yleiset vaatimukset.

Luoma, S. & Vianova Systems Finland Oy. 2013. InfraBIM Mallinnusohjeet Osa 10.0 Havainnollistaminen. uudistettu painos.

Marttinen, M. & NCC Roads Oy. 2014. InfraBIM Mallinnusohjeet Osa 11.1 Tieverkon ylläpidon mallivaatimukset.

Mäkinen, E. & Tekla Oy. 2014. InfraBIM Mallinnusohjeet Osa 8.0 Inframallin laadunvarmistus., uudistettu painos.

Palviainen, P. & Destia Oy. 2014. InfraBIM Mallinnusohjeet Osa 11.3 Väylärakenteen toteumamallin vaatimukset- ja ohjeet.

Peltokorpi, M.; Räsänen, O.; Lämsä, J.; Repo, T.; Räsänen, M.; Hynynen, T.; Kärkkäinen, P. & Nieminen, P. 2006. Tiehallinto. Sillan laaturaportti. Laatisohje. uudistettu painos.

Perttula, T. Liikennevirasto. 2014. Liikennevirasto edistää inframallintamisen käyttöönottoa. Viitattu 4.3.2015 [http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat\\_suunnittelijat/tietomallit/Liikennevirasto\\_edistaa\\_inframallintamisen\\_kayttoonottoa#.VPcPZE2KCM8](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/tietomallit/Liikennevirasto_edistaa_inframallintamisen_kayttoonottoa#.VPcPZE2KCM8).

Perttula, T. Liikennevirasto. 2014. Tilannekatsaus infran tietomalleihin. Viitattu 4.3.2015 [http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat\\_suunnittelijat/tietomallit/tilannekatsaus\\_tietomalleihin#.VPcGT02KCM8](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/tietomallit/tilannekatsaus_tietomalleihin#.VPcGT02KCM8).

PRE-ohjelma Infra FINBIN-työryhmä. InfraBIM\_tiedote\_10062013, Viitattu 20.3.2015 [http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CDY-QFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.rts.fi%2Finfrabim%2Finfrabim\\_uusi%2FinfraBIM\\_tiedote\\_10062013.pdf&ei=95USVaz3K6bXyQPHjIKgBA&usg=AFQjCNEkzxKL-fAfsCHiE9clfu1wzjcvrcA](http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CDY-QFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.rts.fi%2Finfrabim%2Finfrabim_uusi%2FinfraBIM_tiedote_10062013.pdf&ei=95USVaz3K6bXyQPHjIKgBA&usg=AFQjCNEkzxKL-fAfsCHiE9clfu1wzjcvrcA).

Rakennustietosäätiö RTS 2006. InfraRYL2006. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset Osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustietosäätiö RTS 2010. InfraRYL2010. INRFA 2006. Rakennusosa- ja hankenimikeistö. Määramittausohje, versio 2.1. uudistettu painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustieto Oy. YSE 1998-asiakirja. Rakennusurakan Yleiset Sopimusehdot. 2011. Rakennustietosäätiö RT.

Salminen, K. 2015. InfraBIM, Espoon pilottikohteissa hyviä kokemuksia mallintamisesta. Viitattu 8.3.2015 <http://www.infrabim.fi/espoo-kiristaa-mallinnusvaatimuksia-asteittain/>.

Salmi, J. 2015. Mallintaminen helpottaa ja tehostaa tieverkon ylläpitoa. Viitattu 11.3.2015 <http://www.infrabim.fi/mallintaminen-helpottaa-ja-tehostaa-tieverkon-yllapitoa/>.

Serén, K. 2014. Eurostep Oy. InfraFINBIM Mallinnusvaatimukset. Lyhyt sanasto – Infrarakentamisen tietomallintaminen. Viitattu 13.4.2015 [www.infrabim.fi/wp-content/.../10/InfraBIM\\_Lyhyt-Sanasto\\_v0-6.pdf](http://www.infrabim.fi/wp-content/.../10/InfraBIM_Lyhyt-Sanasto_v0-6.pdf). Helsinki: Rakennustieto Oy.

Siidorow, M.; Lehtinen, S. & Myllymäki, H. 2014. Siltojen tietomalliohje. Liikennevirasto.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. Tietomallinnus. Viitattu 31.3.2015 <http://www.ril.fi/fi/alan-kehittaminen/tietomallinnus.html>.

Tiehallinto. Siltayksikkö. Siltojen suunnitelmat 2000. uudistettu painos. Helsinki: Edita Oy.

Tampereen Teknillinen Yliopisto. Tutkimusmenetelmät. Viitattu 21.3.2015 <http://www.tut.fi/verne/tutkimusmenetelmat/kysely-ja-haastattelumenetelmat/>.

Virtuaali ammattikorkeakoulu. Case-tutkimus. Viitattu 20.3.2015. <http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/0709019/1193463890749/1193464144782/1194348546586/1194356433452.html>